



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Físicas
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

**Diseño hidráulico de la tubería de presión de la mini
central hidráulica Huaura, distrito de Paccho,
provincia de Huaura, Lima**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

Modalidad – M3

AUTOR

Gino Benjamin ARECHUA DE LA CRUZ

Lima, Perú

2018



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Arechua, G. (2018). *Diseño hidráulico de la tubería de presión de la mini central hidráulica Huaura, distrito de Paccho, provincia de Huaura, Lima*. Monografía Técnica para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos. Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Hoja de metadatos complementarios

- **Código ORCID del autor:**
- **Código ORCID del asesor:**
- **DNI o pasaporte del autor:** 41115907
- **Grupo de investigación:**
- **Institución que financia la investigación:**
- **Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación:**
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
- **Año o rango de años que la investigación abarcó:**
21.10.2017 – 30.07.2018



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA DE FLUIDOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS POR LA MODALIDAD M3, SUFICIENCIA PROFESIONAL

Siendo las 19:00 horas del día lunes 30 de julio de 2018 en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, bajo la presidencia del Ing. JOSÉ JUÁREZ CÉSPEDES y con la asistencia del Ing. MIGUEL ERNESTO ARAMBULO MANRIQUE y del Ing. MANUEL VICENTE HERQUINIO ARIAS, miembros del Jurado Examinador de Monografía Técnica, de conformidad con la Resolución Rectoral N° 01934-R-02 que aprueba las diferentes modalidades de titulación profesional, se dio inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Monografía Técnica en la que el Bachiller ARECHUA DE LA CRUZ GINO BENJAMIN puso a consideración del Jurado Examinador su trabajo de Monografía Técnica como parte de los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos por la Modalidad M3, Suficiencia Profesional.

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente e invitó al Bachiller ARECHUA DE LA CRUZ GINO BENJAMIN, a realizar la exposición de su trabajo titulado "DISEÑO HIDRÁULICO DE LA TUBERIA DE PRESIÓN DE LA MINI CENTRAL HIDRAULICA HUAURA, DISTRITO DE PACCHO, PROVINCIA DE HUAURA LIMA" durante un tiempo de 30 minutos.

Concluida la exposición del candidato, y luego de las preguntas de rigor de parte del Jurado Examinador, el Presidente invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la sala de sesión para dar paso a la deliberación y calificación correspondiente. Se procedió a promediar la nota final obtenida en los cursos del Ciclo de Actualización Profesional (CAP), y el resultado se promedió a su vez con la nota de sustentación de la monografía para hallar el promedio final.

Al término de la deliberación del jurado, se invitó al candidato a regresar a la sala de sesión para dar lectura a la calificación final obtenida, la misma que fue:

..... QUINCE (15)

El Presidente del Jurado Examinador, del Ing. JOSÉ JUÁREZ CÉSPEDES, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller ARECHUA DE LA CRUZ GINO BENJAMIN Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 20:00 horas del mismo día, se levantó la sesión.

Ing. JOSÉ JUÁREZ CÉSPEDES
PRESIDENTE

Ing. MIGUEL ERNESTO ARAMBULO MANRIQUE
MIEMBRO

Ing. MANUEL VICENTE HERQUINIO ARIAS
MIEMBRO

Dedicatoria:

La presente monografía se la dedico a mi
esposa Rosalyn Benito, por su apreciable
apoyo, además a mi hija Laura Lucía
ya que a su corta edad me ha enseñado
muchas cosas de la vida.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres Pedro Arechua y Juana de la Cruz por haberme cuidado y darme la fuerza necesaria para culminar mi carrera profesional

A mis hermanos Julio, Pedro y Miguel por apoyarme cuando más lo necesitaba.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por haberme formado académicamente para llegar a ser un excelente profesional.

Además, a mis compañeros de trabajo por haberme dado la oportunidad de desenvolverme profesionalmente en la Ingeniería Mecánica de Fluidos.

RESUMEN

El presente trabajo es consecuencia de obtener un diseño hidráulico para la instalación de una tubería a presión (tubería forzada) que sirva de enlace de la estructura del tanque de presión (cámara de carga) hasta la turbina de la casa de máquinas en toda obra de centrales hidroeléctricas,. El diseño hidráulico de esta tubería se consta en el cálculo del diámetro diseño, diámetro económico, espesor de la tubería la potencia útil y no útil que genera. Para ello fue necesario determinar las pérdidas de carga debidas a la fricción del agua con las paredes de la tubería y las pérdidas secundarias debida a los accesorios como: rejilla, ingreso, codos, válvulas. Se analizó el efecto del golpe de ariete debido al cierre brusco de la válvula y su incidencia en el cálculo del espesor de la tubería.

Palabras clave: Cámara de carga, diámetro económico, tubería de presión, pérdidas de carga, golpe de ariete.

CONTENIDO

CAPITULO I – INTRODUCCION E INFORMACION GENERAL	1
1.0 INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROBLEMÁTICA Y PROBLEMA A RESOLVER	1
1.2 OBJETIVOS DE LA MONOGRAFIA TECNICA	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 LIMITACIONES DEL TEMA	2
1.4 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	2
1.4.1 Ubicación, extensión y limites	2
1.4.2 Vías de acceso	3
1.4.3 Clima	4
CAPITULO II - FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.0 INTRODUCCION	5
2.1 CAMARA DE CARGA	5
2.1.1 Volumen del tanque de presión	6
2.1.2 Altura mínima del agua sobre la tubería	7
2.1.3 Diseño de rejillas	8
2.2 TUBERIAS FORZADAS	9
2.2.1 Criterios técnicos para seleccionar una tubería forzada o de presión	10
2.2.2 Materiales empleados en la tubería de presión	10
2.2.3 Tipos de uniones	12
2.2.4 Juntas de expansión	12
2.2.5 Válvulas de tuberías de presión	13
2.3 CALCULOS DE LAS PÉRDIDAS Y DIAMETRO ÓPTIMO	14
2.3.1 Perdidas en las rejillas h_r	15
2.3.2 Perdidas de entrada h_E	16
2.3.3 Perdidas en codos h_o	16
2.3.4 Perdidas por fricción en el tubo h_f	17
2.3.5 Perdidas en la válvula h_v	17

2.4	CALCULO DEL ESPESOR DE LA TUBERIAS DE PRESION	18
2.4.1	Secuencia de cálculo para la determinación del espesor de la tubería a Presión	18
		v
2.5	APOYOS Y ANCLAJES PARA TUBERIAS A PRESION	19
2.5.1	Espaciamientos de soportes	20
2.5.2	Tuberias de acero	20
2.5.3	Tuberias unidas con espiga y campana	20
2.5.4	Calculo de apoyos	20
2.5.5	Calculo de anclajes	23
2.6	CALCULO DEL DIAMETRO ECONOMICO	29
2.6.1	Método 1	29
2.6.1.1	Calculo del costo anual de la tubería (Ca)	29
	CAPITULO III – DESARROLLO DEL TEMA	32
3.0	INFORMACION GENERAL DEL ESTUDIO	32
3.1	DISEÑO Y CARACTERISTICA DELA TUBERIA A PRESION	32
3.2	DIMENSION DEL DESARENADOR- CAMARA DE CARGA	33
3.3	CALCULOS DE LAS DIMENSIONES DE LA CAMARA DE CARGA O TANQUE DE PRESION	35
3.4	DISEÑO DE LAS REJILLAS	36
3.5	CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE LA TUBERIA A PRESION	37
3.6	CALCULOS DE PÉRDIDAS EN LA TUBERIA DE PRESION	38
3.7	DETERMINACION DE LA ALTURA NETA O ALTURA UTIL - H _s	41
3.8	DETETERMINACION DE LA POTENCIA QUE SE GENERA (Pot) Y LO QUE NO SE GENERA (Potp)	41
3.9	DETERMINACION DEL DIAMETRO ECONOMICO	41
3.10	DISEÑO DE LOS APOYOS	42
3.11	DISEÑO DE LOS ANCLAJES	45
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
	Conclusiones	49
	Recomendaciones	50
	Bibliografía	51
	Anexos	53
	Plano N° 01 - plano de ubicación de la tubería forzada	54

Plano N° 02 – plano topográfico de la tubería forzada con los demás componentes	55
que conforma la minicentral hidroeléctrica de Paccho—Huaura.	
Plano N° 03 – Plano de trazo de la tubería forzada.	56

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.0 Espaciamiento entre apoyos para tuberías	20
Tabla N° 3.0 Valores de K en tuberías	40
Tabla N° 3.1 Cálculo de anclajes para la tubería forzada	46

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.0 Mapa de ubicación de la zona de estudio	3
Figura N° 2.0 Cámara de carga	6
Figura N° 2.1 Altura mínima del agua sobre la tubería de presión	7
Figura N° 2.2 Rejilla de la cámara de presión	8
Figura N° 2.3 Valores del coeficiente.	9
Figura N° 2.4 Esquema de una tubería forzada en una central hidroeléctrica	9
Figura N° 2.5 Tuberías de acero sin costura	11
Figura N° 2.6 Válvula de compuerta	13
Figura N° 2.7 Válvulas de mariposa con diferentes mecanismos de apertura y cierre	14
Figura N° 2.8 Pérdidas en la rejilla por fricción	15
Figura N° 2.9 Coeficiente de pérdidas en la entrada de la tubería	16
Figura N° 2.10 Angulo en un codo	16
Figura N° 2.11 Coeficiente de pérdidas en las Válvulas	17
Figura N° 2.12 Fuerzas que intervienen en los apoyos	20
Figura N° 2.13 Fuerzas cuando la tubería se dilata	22
Figura N° 2.14 Tubería de presión	24
Figura N° 2.15 Cálculo de la fuerza F1	24
Figura N° 2.16 Cálculo de la fuerza F2	25

Figura N° 2.17 Cálculo de la fuerza F3	25
Figura N° 2.18 Cálculo de la fuerza F4	26
Figura N° 2.19 Cálculo de la fuerza F5	26
Figura N° 2.20 Cálculo de la fuerza F6	27
Figura N° 2.21 Cálculo de la fuerza F7	27
Figura N° 2.22 Cálculo de la fuerza F8	28
	viii
Figura N° 2.23 Cálculo de la fuerza F9	28
Figura N° 3.0 Desarenador – planta	34
Figura N° 3.1 Perfil del desarenador	35
Figura N° 3.2 Detalle de la cámara de carga – desarenador	35
Figura N° 3.3 Detalle del tanque de presión	35
Figura N° 3.4 Tubería a presión – Diámetros	37
Figura N° 3.5 Detalles de los apoyos - I	45
Figura N° 3.6 Detalle de los apoyos – II	45
Figura N° 3.7 Diversos tipos de anclajes para la tubería forzada	47
Figura N° 3.8 Anclajes perfil	47
Figura N° 3.9 Perfil de la tubería forzada y Apoyos	48

CAPITULO I

INTRODUCCION E INFORMACIÓN GENERAL

1.0 INTRODUCCION

El Perú se ha comprometido en reducir en un 31% las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el año 2030, como parte de sus compromisos ambientales asumidos en su calidad de miembro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Asimismo, una parte importante de la estrategia nacional para la reducción de las emisiones futuras de GEI es potencializar aquellos proyectos energéticos con mayor grado de sostenibilidad, siendo prioritaria en el Perú la energía hidroeléctrica.

Siendo la tubería de presión (forzada) parte de una central hidroeléctrica, la presente monografía hará el cálculo hidráulico correspondiente desde la salida de la cámara de carga, hasta la brida de acoplamiento con las válvulas de las turbinas en cada ramal. Para implementar equipos electromecánicos en una central hidroeléctrica se tiene que diseñar y calcular una tubería forzada de un solo conducto que sirve para transportar el caudal de diseño.

El diseño hidráulico de la tubería de presión consiste en determinar su diámetro, espesor, sobrepresión debida al golpe de ariete y las pérdidas de carga producidas. En esta monografía técnica se expone el procedimiento de cálculo, así como las fórmulas que se utilizan en su diseño. También incluye el diseño de los macizos de anclajes, apoyos y juntas de dilatación. Para la obtención de los resultados correspondientes se ha hecho uso de la información disponible en el diseño de las obras hidráulica de la Central Hidroeléctrica Huaura, Distrito de Paccho, Provincia de Huaura, Región Lima.

1.1 PROBLEMÁTICA Y PROBLEMA A SOLUCIONAR

La problemática que se da en la zona de estudio es que hay un limitado uso de energía eléctrica que ofrece la Municipalidad del distrito de Paccho, por lo que hay disconformidad de la población en general inclusive habiendo cortes de suministro de energía no previstas

a los que tienen este servicio de suministro de energía eléctrica el cual afecta directamente a escuelas, postas médicas, pequeños comerciantes e industriales y amas de casa.

Para tal efecto se realizará un diseño adecuado de la tubería forzada, el espesor de la misma. Así como los apoyos y anclajes, con la finalidad de que el agua sea conducida a través de la tubería forzada a la casa de máquinas y a través de las turbinas pueda generar la energía eléctrica que necesita la población de Paccho.

1.2 OBJETIVOS DE LA MONOGRAFIA TECNICA

1.2.1 Objetivo General

Presentar el Diseño hidráulico de la tubería de presión que comprende el cálculo del diámetro teórico y económico, espesor, apoyos y anclajes de este componente hidráulico de la Minicentral Hidroeléctrica Huaura que se ubica en el departamento de Lima.

1.2.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos que se pretende lograr:

1. Determinación de la potencia útil y la que no genera
2. Presentar el Diseño de anclaje, apoyos y juntas de dilatación

1.3 LIMITACIONES DEL TEMA

1. El trabajo monográfico se limita al cálculo hidráulico de la tubería de presión que comprende en la obtención del diámetro teórico, económico, apoyos y anclajes.
2. Los costos de construcción, operación y mantenimiento no son parte del presente trabajo monográfico.
3. Temas ambientales tampoco son tratado en el presente trabajo monográfico.

1.4 UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO

1.4.1 Ubicación, Extensión y Límites

La zona en estudio se encuentra ubicada:

Departamento	:	Lima
Provincia	:	Huaura
Distrito	:	Paccho
Coordenadas Geográficas	:	UTM 204 472 E ,8 733 770 N 328 697 E, 8 826 086 N.

Altitud : 3,340 msnm

Figura N° 1.0 y plano de ubicación 01 y topográfico 02.

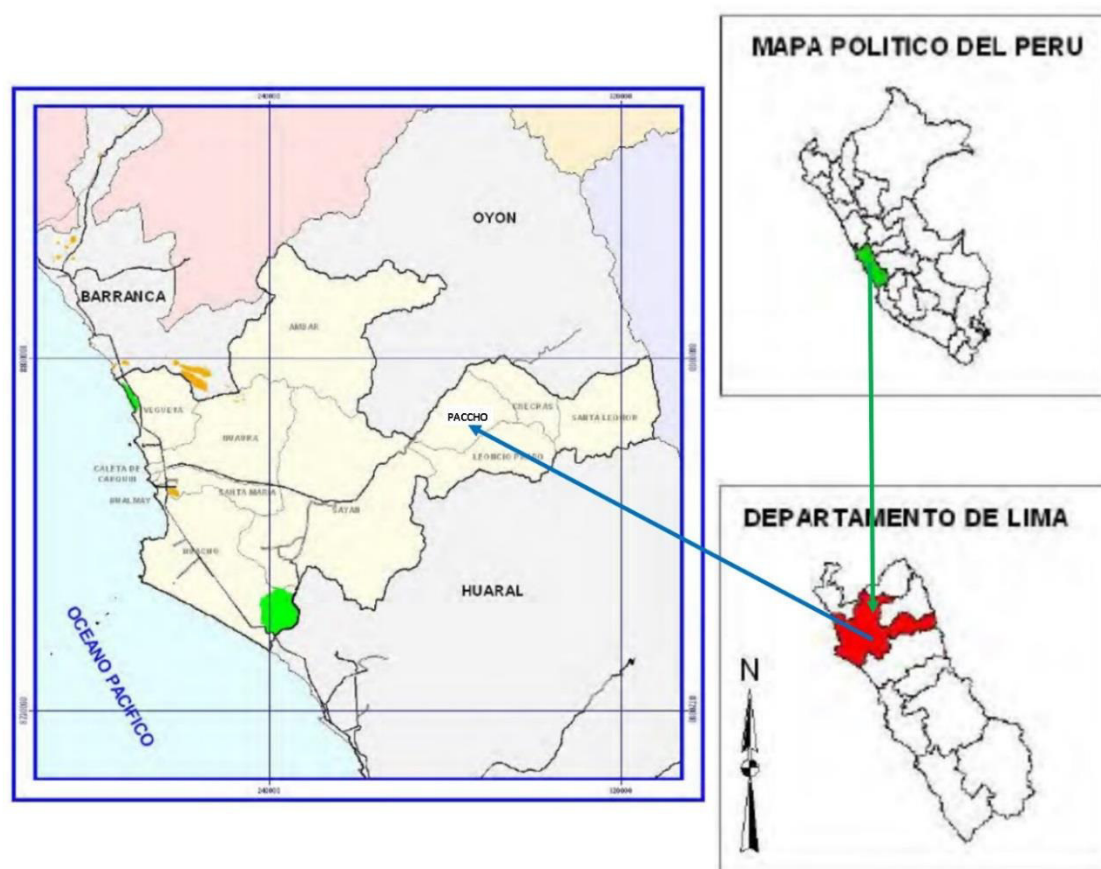


Figura N° 1.0 – Mapa de ubicación de la zona de estudio

Fuente: Editado de; <https://www.google.com.pe/search?q=distrito+de+paccho&tbm...>

1.4.2. Vías de Acceso

El acceso y vía principal es la carretera Panamericana Norte, la cual mantiene un flujo constante entre la zona y Lima y los departamentos de la costa norte. Hacia el interior de los distritos existen vías asfaltadas, afirmadas y trochas que unen las áreas agrícolas con la carretera principal. Existe acceso por el mar, que se concreta con el muelle en las bahías de Huacho y Caleta Carquín.

Para llegar al distrito de Paccho la carretera de acceso es trocha carrozable desde el desvío de Pacchotingo, cuyo mantenimiento se hace a través de trabajos comunales con el apoyo de la Municipalidad. Es necesario señalar que no existe carretera para Muzga y Lacsanga, por lo que el traslado se hace a pie o utilizando acémilas por camino de herradura.

1.4.3. Clima

El clima es la sucesión de cambios climáticos atmosféricos a través de un período de tiempo. Su clima es intensamente frío en las noches, en el día el sol aparece tibio, la lluvias se intensifican y se hacen continuas durante los meses de diciembre a marzo. De acuerdo al Mapa de Pobreza elaborado por FONCODES, Paccho es una zona pobre.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEORICOS

2.0 INTRODUCCION

La energía hidráulica se basa en aprovechar la caída del agua desde cierta altura. La energía potencial, durante la caída, se convierte en cinética. El agua pasa por las turbinas a gran velocidad, provocando un movimiento de rotación que finalmente, se transforma en energía eléctrica por medio de los generadores. Es un recurso natural disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua, y una vez utilizada, es devuelta río abajo. Su desarrollo requiere construir pantanos, presas, canales de derivación, y la instalación de grandes turbinas y equipamiento para generar electricidad. Todo ello implica la inversión de grandes sumas de dinero, por lo que no resulta competitiva en regiones donde el carbón o el petróleo son baratos. Sin embargo, el peso de las consideraciones medioambientales y el bajo mantenimiento que precisan una vez estén en funcionamiento centran la atención en esta fuente de energía.

En esta monografía nos enfocamos previamente al cálculo de la cámara de carga y la tubería forzada o tubería de presión que tienen como objeto conducir el agua desde el punto en el cual se tiene una gran energía potencial, desde el embalse en algunos casos, o desde el tramo final del túnel de conducción en otros, o desde el denominado pozo de presión o cámara de presión, hasta la casa de máquinas, más precisamente hasta la turbina. Se presenta una transformación energética en la tubería de presión, se disminuye la energía potencial del agua a medida que se desciende y al mismo tiempo se aumenta la energía cinética y de presión.

2.1 CAMARA DE CARGA

El diseño de la cámara de carga cumplirá también la función del desarenador por lo cual se sigue exactamente el procedimiento que para los desarenadores, excepto para la sección de salida que es remplazada por la toma de la tubería de presión.

También cumple las funciones de amortiguación de sobrepresiones en la tubería forzada además de ser una transición entre el canal de conducción y la tubería de presión.

El tanque de presión o de carga debe cumplir con las siguientes funciones:

- Permitir la conexión entre el sistema de conducción y la tubería de presión.

- Producir la sedimentación y eliminación de materiales sólidos que vienen por la tubería de conducción.
- Impedir la entrada en la tubería de presión, materiales solidos de arrastre y flotantes.
- Mantener sobre la tubería de presión una altura de agua suficiente para evitar la entrada de aire a la misma.

En el dimensionamiento del tanque de presión se debe considerar principalmente el volumen y la altura mínima del agua sobre la tubería de presión. Figura N° 2.0

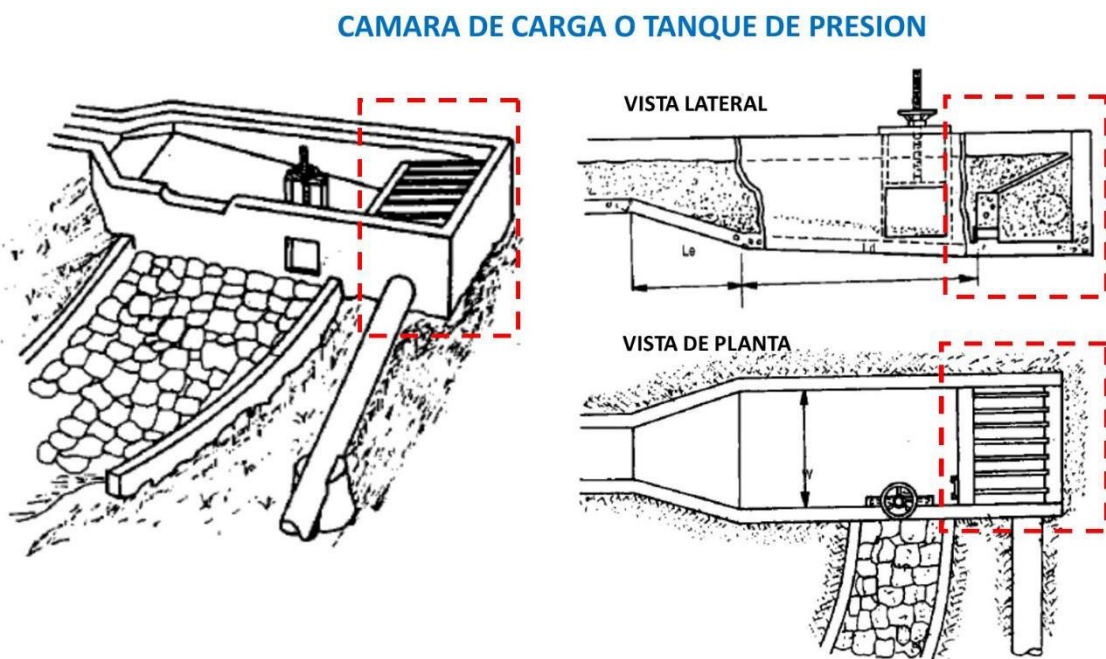


Figura N° 2.0. Camara de carga

Fuente: Manual de mini y micro centrales hidraulicas – Pag. 76

2.1.1 Volumen del tanque de presión

Para calcular el volumen del tanque de presión con el fin de mantener constante el caudal que entra a la tubería de presión, para evitar el ingreso de aire a la misma, y lo determinamos con la siguiente fórmula de E. J. Low:

$$Vol = \frac{0.693(A.V^2)}{i.g} \quad [Ec. 2.0]$$

Donde:

Vol = Es el volumen del tanque (m³).

A = Sección de la tubería de presión (m²).

V = Velocidad de agua en la conducción (m/s).

g = Aceleración de la gravedad $9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$.

i = Pendiente del canal de conducción.

2.1.2. Altura mínima del agua sobre la tubería

El costo de la estructura del tanque de presión aumenta con el incremento de la profundidad a la que está colocada la salida de la tubería de presión, por esta razón para una máxima economía esta debe estar lo más alta posible. Pero por otro lado, esta situación es poco peligrosa debido a que se pueden formar remolinos que permitan la entrada de aire a la tubería ocasionando problemas en la misma y afectando la eficiencia de la turbina. El problema entonces consiste en establecer que la altura bajo el nivel del agua debe quedar la parte superior de la tubería considerando al aspecto económico y evitando la zona en que se producen remolinos para alcanzar una eficiencia hidráulica (Amaguaya & Herrera, 2009). Figura N° 2.1

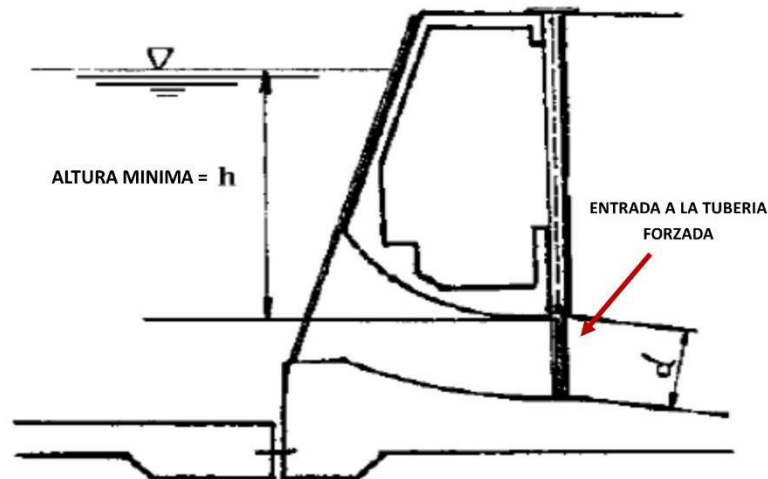


Figura N° 2.1 Altura mínima del agua sobre la tubería de presión

Fuente: (Amaguaya & Herrera, 2009)

La altura mínima de agua sobre la tubería de presión se puede calcular con las siguientes ecuaciones:

a.- Para salida frontal de flujo.

$$h = 0.543(V \cdot \sqrt{D}) \dots (m) \quad [\text{Ec. 2.1}]$$

b.- Para salida lateral de flujo.

$$h = 0.724(V \cdot \sqrt{D}) \dots (m) \quad [\text{Ec. 2.2}]$$

Donde:

h = Altura mínima (m).

V = Velocidad en la tubería de presión (m/s).

D = Diámetro interior de la tubería de presión (m).

Se tiene en cuenta que primero se construirá el desarenador seguido inmediatamente el tanque de presión, determinamos el largo del mismo con la siguiente ecuación.

$$l_t = \frac{Vol}{w.h_t} \quad [Ec. 2.3]$$

Donde:

Vol = Volumen del tanque (m³).

l_t = Longitud del tanque (m).

w = Ancho del tanque (m).

h_t = Altura total del tanque (m).

2.1.3 Diseño de rejillas

Para evitar la entrada de materiales flotantes en la tubería, entre esta y el tanque de presión se instala rejillas finas (Barreno, 1985). Figura N° 2.2

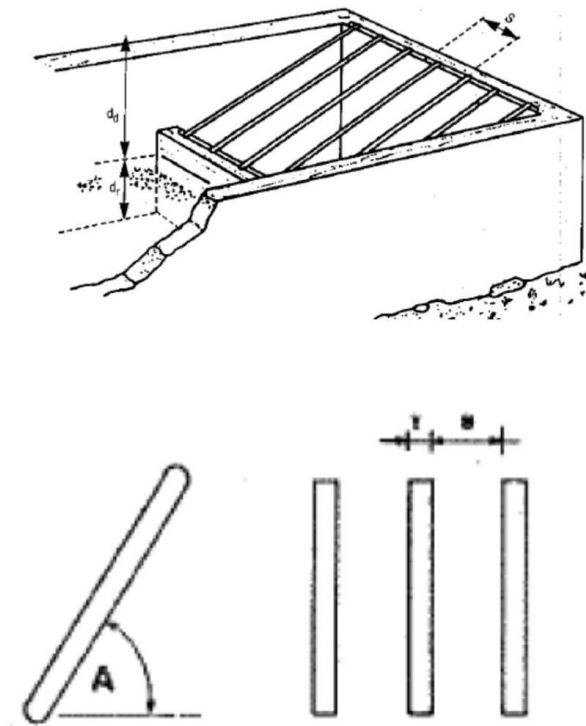


Figura N° 2.2 Rejilla de la cámara de presión

Fuente: Manual de mini y micro centrales hidráulicas – Pag. 81

A es la inclinación de la rejilla con respecto a la horizontal, para facilitar la limpieza.

A = 50° - 55° para limpieza a mano.

A = 70° - 76° Para limpieza mecánica.

El coeficiente de pérdida de Kischmer para secciones rectangulares, mediante la siguiente fórmula:

$$\xi = \varphi \cdot \left(\frac{S}{a} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot \sin(\alpha) \quad [\text{Ec. 2.4}]$$

El valor de φ se obtuvo del siguiente esquema: Figura N° 2.3

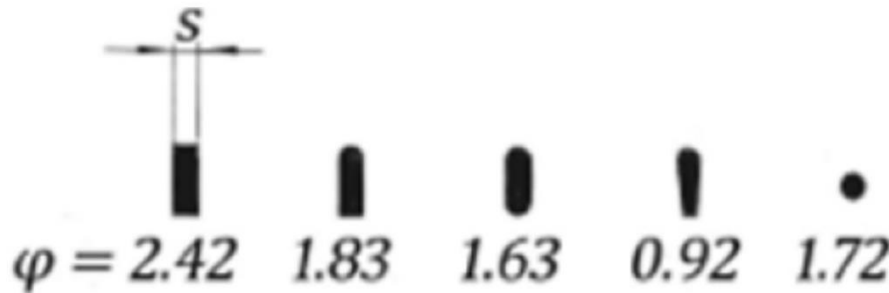


Figura N° 2.3 Valores del coeficiente.

Fuente: (Cortez & Valencia, 2014).

Finalmente se calcula la pérdida de carga según la fórmula de Krischmer y Mosonyi:

$$\Delta h = \xi \cdot \frac{V^2}{2g} \quad [\text{Ec. 2.5}]$$

2.2 TUBERÍAS FORZADAS

Las tuberías forzadas o también conocidas como tuberías de presión son conducciones forzadas, como consecuencia de las altas presiones en la totalidad de su superficie, por encontrarse repletas de agua, y desplazarse ésta por la acción de la presión y no por la pendiente. La función de las tuberías es la conducción del agua directamente desde el punto de alimentación hasta las turbinas ubicadas en la central. Las tuberías forzadas pueden originarse en una toma de agua, en una galería, un pozo de presión o en un colector.

La tubería de presión debe ser preferentemente recta, aunque en algunas ocasiones difícil de obtener, debido a las condiciones del terreno. Este hecho obliga a ajustarse al perfil topográfico de su trazado con el apoyo de estructuras de concreto que le ayudan a sostenerse y a variar la pendiente. (Figura N° 2.4)

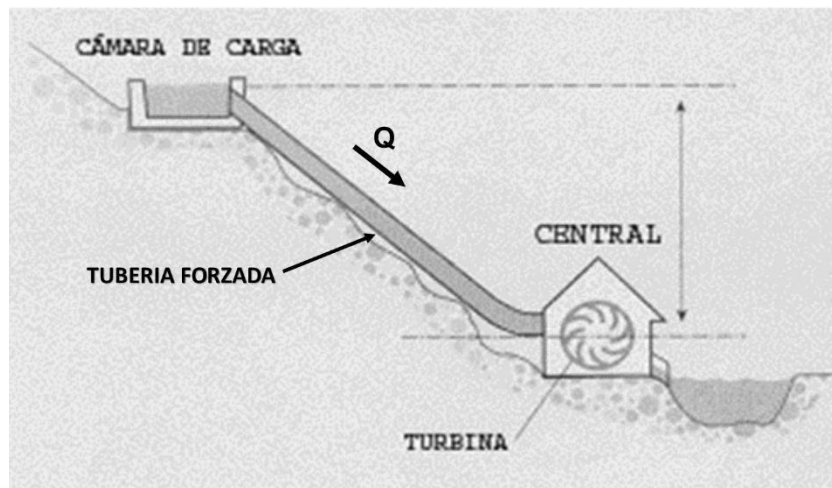


Figura N° 2.4. Esquema de una tubería forzada en una Central Hidroeléctrica
Fuente: Energía Minihidráulica

2.2.1 Criterios técnicos para seleccionar una tubería forzada o de presión

Transportar un cierto caudal de agua (objetivo de las tuberías forzadas) desde la cámara de carga hasta la casa de máquinas no parece tarea difícil, y sin embargo, el diseño de una tubería forzada no es asunto fácil. Las tuberías forzadas pueden instalarse sobre o bajo el terreno, según sea la naturaleza de éste, el material utilizado para la tubería, la temperatura ambiente y las exigencias medioambientales del entorno.

Para tal efecto se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

1. Considerar las diferentes clases de material disponible, tipos de uniones, comparar formas y costos de mantenimiento. Anotar también los diámetro de las tuberías y los espesores de pared disponibles
2. La selección del diámetro se hará tratando de obtener el menor costo y las menores pérdidas de energía.
3. El espesor se determina de acuerdo con los esfuerzos generados por el golpe de ariete, el peso del agua y de la tubería.

Al decidir el material que se empleara para un proyecto tienen que ser considerados los siguientes factores:

1. Presión de diseño
2. Tipos de unión
3. Diámetro y pérdida por fricción
4. Peso y grado de dificultad de la instalación
5. Accesibilidad al sitio
6. Terreno y tipo de suelo

7. Mantenimiento y vida esperada de la instalación
8. Condiciones climáticas
9. Disponibilidad
10. Costo relativo.

2.2.2 Materiales empleados en la tubería de presión

Los materiales que se utilizan son:

a) Acero comercial

Es el material más utilizado tuberías de presión, pueden ser fabricadas con maquinaria común en la mayoría de talleres de regular tamaño que trabajan con acero. Sus diámetros y espesores son variados. Tienen un factor de pérdida por fricción regular y si están recubiertas por una capa de pintura u otra de protección pueden durar hasta 20 años. Son resistentes a impactos y relativamente pesadas en caso de ser necesario pueden ser fabricados en longitudes adecuadas para su transporte e instalación. Las tuberías de presión de acero que son enterradas corren riesgo de corroerse. (Figura N° 2.5)



Figura N° 2.5 Tuberías de acero sin costura

Fuente: Dincorsa - <http://www.dincorsa.com/es/>

b) Policloruro de Vinilo (PVC)

La tubería PVC es una de las más empleadas en las microcentrales. Es relativamente económica. Se producen en diámetros que van hasta cerca de 400 mm y es adecuada para presiones elevadas (100 a 150 mca). Al variar el espesor de la pared de la tubería se

obtienen diferentes niveles de presión. Es liviana y fácil de transportar. Tiene un factor de pérdidas por fricción bajo y es resistente a la corrosión. Es relativamente frágil y puede ser dañada por golpes e impactos de rocas, en especial a bajas temperaturas. La principal desventaja de este material que se deteriora cuando se expone a la luz ultravioleta. Por ello debe estar protegida de la luz solar directa, ya sea enterrándola, cubriéndola con vegetación envolviéndola o pintándola.

c) Hierro dúctil centrifugado

El hierro dúctil ha reemplazado en gran medida hierro fundido, aunque este último todavía se utiliza en sistemas antiguos, estas pueden estar revestidas en su interior con cemento. Lo cual le dota de protección contra corrosión y de una baja pérdida por fricción. Es un material pesado, de allí que no sea fácil de instalar y sea más costoso.

d) Asbesto-cemento

Las tuberías hechas de cemento reforzado con fibra de asbesto son frágiles y adecuadas para trabajar a una presión moderada. Son más pesadas que las de PVC y tiene apreciable pérdida por fricción.

e) Resina de Poliéster con fibra de vidrio reforzado

Las tuberías hechas de resina reforzada con fibra de vidrio insertada en forma de espiral son livianas y poseen bajo coeficiente de fricción. Son frágiles y hay que instalarlas con bastante cuidado. Pueden ser utilizadas con presiones elevadas con la condición de que estén bajo tierra y se rellene el espacio donde se colocan con material fino seleccionado. Aun no tienen mayor aceptación.

f) Polietileno de alta densidad

Las tuberías de este material son una buena alternativa a las de PVC. Son particularmente útil para pequeños sistemas dada su fácil instalación. Tienen un coeficiente de pérdidas de fricción, son resistentes a la corrosión y no se deterioran cuando están expuestas a la luz solar.

2.2.3 Tipos de Uniones

Las tuberías, por lo general, vienen en longitudes estándar y deben ser unidas in situ. Hay muchas maneras de hacerlo. Al escoger el mejor método de unión para un sistema determinado, hay que considerar los siguientes aspectos (Segura & Rodríguez, 1985).

1. Adecuación al material de tubería seleccionado.
2. Grado de destreza del personal que instala las tuberías.
3. Grado de flexibilidad requerido en las uniones.

4. Costos relativos.
5. Grado de dificultad de la instalación.

Los tipos de uniones de tuberías pueden clasificarse en 4 categorías:

1. Embridada.
2. Espiga y campana.
3. Mecánica
4. Soldada

2.2.4 Juntas de Expansión

Según Segura & Rodríguez, (1985) en las tuberías de presión de acero tiene que haber juntas de expansión o dilatación, generalmente existe una inmediatamente debajo de la cámara de la cámara de carga o del anclaje superior, La dilatación de la tubería debe ser calculado como sigue:

$$E = \alpha \cdot \Delta T \cdot L \quad \text{[Ec. 2.6]}$$

Donde:

E= Dilatación en metros.

α = Coeficiente de dilatación (m/m °C).

ΔT = Cambio de temperatura experimentada por la tubería (°C).

L= Longitud de la tubería (m).

2.2.5 Válvulas para tuberías de Presión

Las válvulas controlan el paso del agua en la tubería de presión y las hay de diferentes tipos, para el caso de las microcentrales hidráulicas nos limitaremos tan solo a las válvulas de compuerta y de mariposa.

a) Válvula de compuerta

Una válvula de compuerta consiste básicamente de un disco metálico que sube y baja a voluntad y está ubicado en el cuerpo de la válvula a presiones elevadas o con válvulas de gran diámetro se precisa de una fuerza importante para operarlas y vencer las fuerzas de fricción en la válvula por esta razón, cuando se coloca también una pequeña válvula de by pass para conectar el lado de alta presión con el de baja presión.

Si el lado de baja presión no está abierto a la atmosfera, habrá un aumento de presión que eventualmente evaluará igualará a la presión a ambos lados de la válvula, facilitando su apertura (Figura N° 2.6).

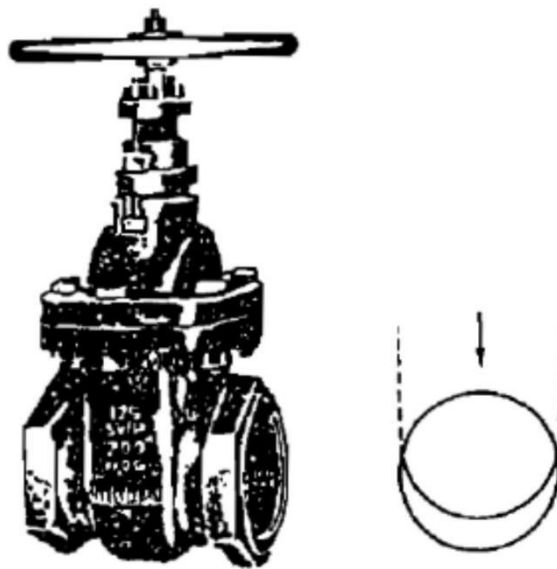


Figura N° 2.6 Válvula de compuerta

Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

b) Válvula de mariposa

Básicamente se trata de una extensión de la tubería dentro de la cual se coloca un disco en forma de lente montado en un eje central, para operar este tipo de válvulas se requiere de poca fuerza ya que la presión de contracorriente en cada mitad del disco está prácticamente balanceada.

Debido a su diseño, una válvula de mariposa puede ser cerrada con facilidad, es importante que sea cerrada lentamente, a fin de originar un golpe de ariete en la tubería. Figura N° 2.7

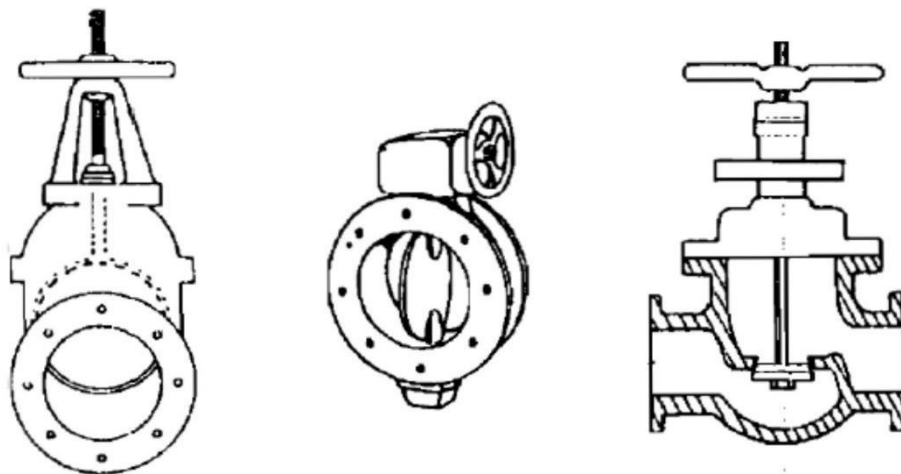


Figura N° 2.7 Válvulas de mariposa con diferentes mecanismos de apertura y cierre.

Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

2.3 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS Y DIÁMETRO ÓPTIMO

El diámetro de la tubería de presión según Fahlbusch se calcula de la siguiente manera:

$$D = \left(\frac{5.2 Q_d^3}{H} \right)^{\frac{1}{7}} \quad [\text{Ec. 2.7}]$$

Donde:

Q_d = Caudal de diseño.

H = Altura de caída bruta + Altura de sobrepresión debido al golpe de ariete.

Esta expresión fue elaborada por Fahlbusch en 1982 en función al capital invertido y la pérdida de energía. Esta fórmula tiene un margen de error de $\pm 10\%$.

La velocidad del fluido que pasa por la tubería de presión es igual a:

$$V = \frac{4Q_d}{\pi D^2} \quad [\text{Ec. 2.8}]$$

Donde:

V = Velocidad del fluido que pasa por la tubería de presión

Q_d = Es el caudal de diseño.

D = Diámetro de la tubería

Las pérdidas en la tubería constituyen la suma de todas las pérdidas por fricción:

$$h_t = h_r + h_E + h_o + h_f + h_v \quad [\text{Ec. 2.9}]$$

Donde:

h_T = Pérdidas en la rejilla

h_E = Pérdidas de entrada

h_o = Pérdidas en codos.

h_f = Pérdidas por fricción en el tubo

h_v = Pérdidas en la válvula

Las pérdidas por fricción en la tubería de presión son las más importantes de todas aproximadamente 90% debido a la longitud de tubería, y pueden ser 10% de la caída bruta.

2.3.1 Pérdidas en la Rejilla h_r

Utilizando la fórmula de Kirchner – Figura N° 2.8

$$h_r = K_r \left(\frac{t}{s} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{V^2}{2g} \text{Sen} \alpha \quad [\text{Ec. 2.10}]$$

Donde:

K_r = Coeficiente de pérdidas según figura.

t = Espesor de la barra (m).

s = Separación entre barras (m).

α = Angulo de inclinación de la rejilla.

V = velocidad antes de la rejilla (m/s).

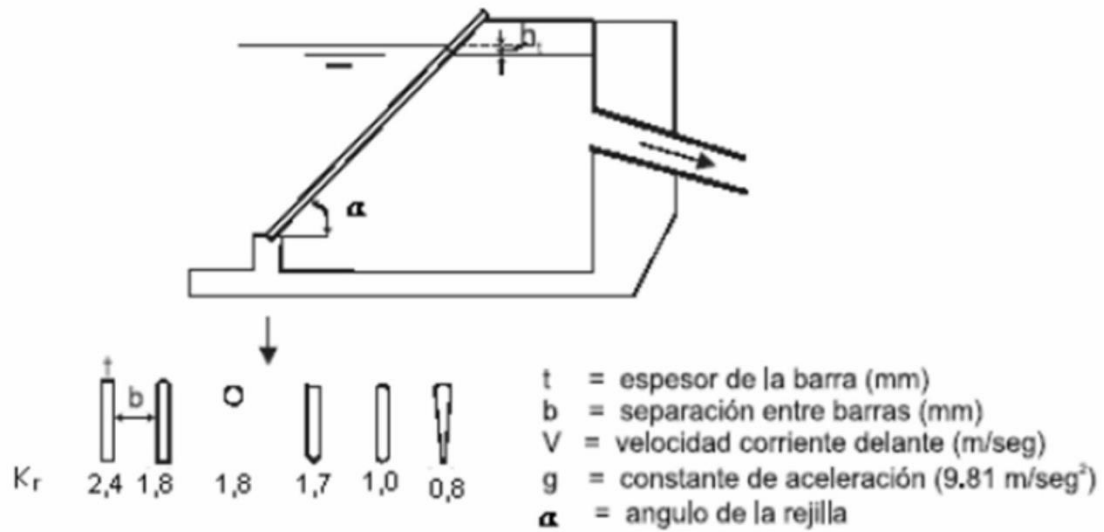


Figura N° 2.8 Pérdidas en la rejilla por fricción

Fuente: (Association, 1998).

2.3.2 Pérdidas de Entrada h_E

Se determina con la ecuación:

$$h_E = K_v \frac{V^2}{2g} \quad [\text{Ec. 2.11}]$$

Donde k_e es el coeficiente de pérdidas que depende de la forma de entrada al tubo como se muestra en la Figura N° 2.9 y V es la velocidad de agua en la tubería en m/s.

TIPOS DE ENTRADA

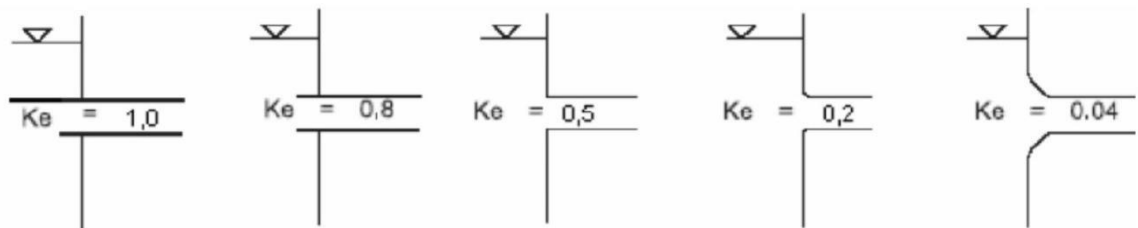


Figura N° 2.9 Coeficiente de pérdidas en la entrada de la tubería.

Fuente: (Association, 1998).

2.3.3 Perdidas en Codos h_o

Se determina con la relación

$$h_o = \sum \Upsilon \frac{V^2}{2g} \quad [\text{Ec. 2.12}]$$

Si se cumple; $\Upsilon = 0.000067(\alpha)^{2.17}$, Figura N° 2.10

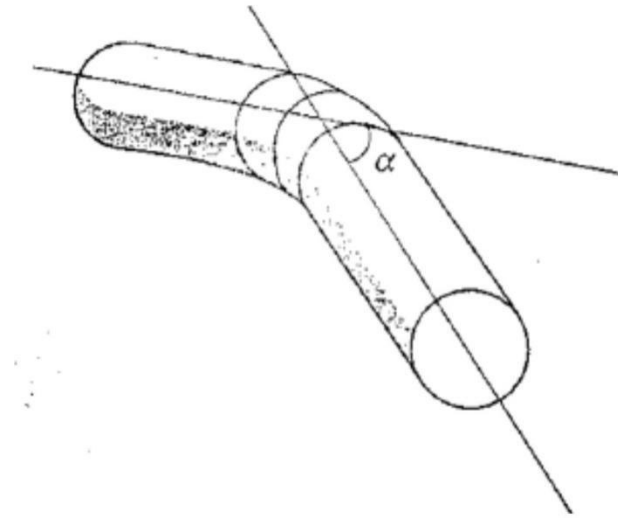


Figura N° 2.10 Ángulo en un codo.

Fuente: (Flores, 2001).

2.3.4 Pérdidas por Fricción en el Tubo h_f

Pérdida de fricción en la tubería por la ecuación de Darcy Weisbach.

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad [\text{Ec. 2.13}]$$

Donde:

f = Es el factor de fricción.

L = Es la longitud de tubo (m).

D = Es el diámetro de la tubería (m).

V = Es la velocidad dentro del tubo (m/s).

g = Es la constante Gravitacional (m/s^2).

El factor de fricción equivale a:

$$f = 0.01 \left(\frac{K}{D} \right)^{0.134} \quad [\text{Ec. 2.14}]$$

2.3.5 Pérdidas en la Válvula h_v

Usamos la ecuación:

$$h_v = K_v \frac{V^2}{2g} \quad [\text{Ec. 2.15}]$$

Donde K_v se puede obtener de Figura N° 2.11

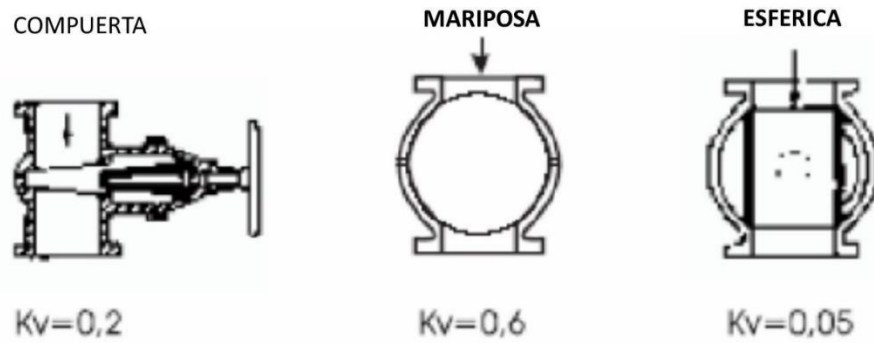


Figura N° 2.11 Coeficiente de pérdidas en las válvulas

Fuente: (Association, 1998).

Para calcular la pérdida porcentual de caída debida a la fricción se utiliza la siguiente relación:

$$\text{Pérdidas.}\% = \frac{h_p}{h_B} \times 100\% \quad [\text{Ec. 2.16}]$$

h_p = Sumatoria de pérdidas primarias y secundarias

h_B = Altura bruta

Si ésta no está entre 4 y 10 %, seleccionar un diámetro de tubería más adecuado y repetir.

2.4 CALCULO DEL ESPESOR DE LA TUBERIAS A PRESIÓN

Al calcular el espesor requerido de pared es necesario para tener en cuenta dos cosas:

- Las presiones más altas que se esperan que resista la tubería.
- Los efectos corrosivos que tienden a adelgazar sus paredes con el transcurso del tiempo, la rigidez para darle resistencia, las limitaciones de la soldadura allí donde sean relevantes y los cambios de espesor u ondulación ocurridos durante su fabricación.

En cuanto al punto (a), las presiones altas se dan por corto tiempo en determinadas situaciones, como por ejemplo al cerrar la válvula. Como son temporales, se conocen con el nombre de presiones transitorias.

La presión transitoria se sumará a la presión normal de funcionamiento (altura bruta).

$$H_t = h_B + \Delta h_{trans} \quad [\text{Ec. 2.17}]$$

El método recomendado para calcular h se da como parte del cálculo completo del espesor de la pared de la tubería. En vista de que el método está simplificado, no es lo suficientemente exacto en todos los casos de diseños de tuberías.

2.4.1 Secuencia de calculo para la determinacion del espesor de la tuberia a presion

- Establecer la velocidad del flujo en la tubería y hacer una tabla con diferentes posibilidades de tubería de presión. Incluir en la tabla el valor del espesor de pared para cada opción.

b) La presión transitoria puede expresarse como caída del agua (Δh).

$$\Delta h = \frac{a \cdot \Delta V}{g} \quad [\text{Ec. 2.18}]$$

Dónde:

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2;$$

V = velocidad del agua

a = es la velocidad de propagación de la onda de presión que depende del material, del diámetro y del espesor de la pared de la tubería.

Una aproximación simple se haría empleando los siguientes valores:

Tubería de acero blando $a = 900 \text{ m/s}$.

Tubería de hierro fundido $a = 1250 \text{ m/s}$.

Tubería PVC $a = 300 \text{ m/s}$.

En algunos casos el cálculo de la sobrepresión por golpe de ariete puede dar valores excesivamente altos. Si se piensa emplear una turbina Peltón multichorros, no es probable que haya altas presiones transitorias. En ese caso sería recomendable aproximarla.

c) Calcular la caída total en la tubería cuando ocurren golpes de ariete.

$$h_t = \Delta h + h_b \quad [\text{Ec. 2.19}]$$

d) Elegir los factores de corrección pertinentes:

Factor por tipo de junta: soldadura $K_j = 1.1$

Plancha rolada y soldada $K_j = 1.2$

Factor por corrosión: $K_c = 1 \text{ mm}$ (Por 10 años de vida).

$K_c = 2 \text{ mm}$ (Por 20 años de vida).

Obsérvese que en una primera aproximación la tubería de PVC tiene un factor de multiplicación igual a 1. (Manual de mini y microcentrales hidráulicas, ITDG-Perú, Pág. 100).

e) Calcular en milímetros el espesor teórico de pared (T) considerando los factores de espesor y la presión total según la fórmula de ITDG soluciones prácticas.

$$e = \frac{5(f_s)(h_t)(10^6)(d)(K_j)}{S} + K_c \quad [\text{Ec. 2.20}]$$

Donde:

f_s = Factor de seguridad.

S = Representa el esfuerzo de rotura del material de la tubería en newton/m^2 . o pascales.

d = Diámetro de la tuberías (m).

h_t = Altura de la sobrepresión por golpe de ariete más la altura bruta.

- f) Seleccionar el espesor de pared más delgado disponible y que exceda el espesor de pared calculado e incluirlo en la tabla de distintas opciones de tubería de presión. Si ello no es posible, hacer un cálculo más completo de la velocidad de onda “a” basada en el diámetro, o seleccionar un diámetro de tubería que resultara en una “caída transitoria” y un espesor de pared menores.
- g) Si se piensa emplear una tubería de PVC, comparar los resultados de este cálculo con el espesor de pared y la recomendación del nivel de presión hecha por el fabricante.
- h) Repetir los pasos (b) al (f) para diferentes materiales de tuberías de presión.

2.5 APOYOS Y ANCLAJES PARA TUBERIAS DE PRESIÓN

Los pilares de soporte, los anclajes y los bloques de empuje cumplen la misma función básica; dar el peso necesario para contrarrestar las fuerzas de los fluidos que podrían hacer que la tubería se mueva y corra el peligro de romperse. El soporte de la tubería sostiene el peso de esta y del agua que contiene. Los anclajes sirven para mantener en tierra a la tubería, así como para fijarla y evitar los movimientos laterales. El bloque de empuje se usa en codos de tuberías enterradas a fin de transmitir las fuerzas a la tierra circundante (Soluciones Prácticas ITDG, 2010).

2.5.1 Espaciamiento de soportes

Hay que calcular el máximo de espaciamiento entre los soportes de una tubería a fin de que esta no se fracture o flexione excesivamente. La Tabla N° 2.0 da una serie de pautas para el espaciamiento de pilares basandose en la experiencia y en las recomendaciones de los fabricantes de tuberías. Si se tienen dudas usar un soporte ppor cada pieza.

2.5.2 Tuberías de acero

Lo importante en este caso es el sistema de unión. Para cualquier método de acoplamiento flexible se requiere de un soporte por pieza. Para bridas que siguen la norma ISO, las tuberías pueden ser consideradas como si fueran de una pieza.

Tabla N° 2.0 Espaciamiento entre apoyos para tuberías

Espaciamiento entre apoyos (m) para tuberías de acero comercial					
Espesor	Diámetro (mm)				
	100	200	300	400	500
2 mm	2	2	2.5	3	3
4 mm	3	3	3	4	4
6 mm	4	4.5	5	6	6

Fuente: Manual de mini y micro centrales hidráulicas – Pag. 104

2.5.3 Tuberías unidas con espiga y campana

Las tuberías de hierro fundido, hierro dúctil y concreto emplean por lo general uniones de espiga y campana. Estas pueden tener una flexión mínima, de allí que haya que usar un soporte por unidad.

2.5.4 Cálculo de apoyos

Los apoyos o soportes deben construirse de manera tal que permitan el movimiento longitudinal de la tubería al centrarse o dilatarse debido a los cambios de temperatura.

Las fuerzas que intervienen según la Figura N° 2.12

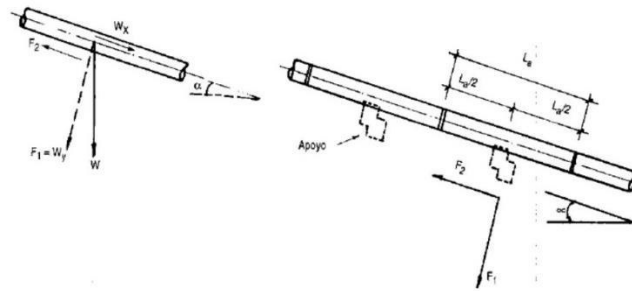


Figura N° 2.12 Fuerzas que intervienen en los apoyos.

Fuente: Manual de mini y micro centrales hidráulicas – Pag. 105

a) Fuerzas que intervienen en los apoyos (Figura N° 2.12).

W = (Peso del tubo más peso del agua) por unidad de longitud.

Esta a su vez tiene 2 componentes Wx y Wy .

Wx = Fuerza longitudinal, paralela al tubo.

Wy = Fuerza perpendicular al tubo.

F_2 = Fuerza de fricción entre tubo y apoyo, originada por Wy .

b) Fuerzas que intervienen para el cálculo

$F_1 = Wy =$ Componente del peso del tubo con agua por unidad de longitud perpendicular al tubo.

F_2 = Fuerza de fricción entre apoyo y tubo.

La componente Wx no actúa para el apoyo sino para el cálculo del anclaje.

c) Valor de F_1 y F_2 .

$$F_1 = W \cdot L_a \cdot \cos(\alpha) \quad [\text{Ec. 2.21}]$$

Pero: $W = W_t + W_a$

Reemplazando en F_1 :

$$F_1 = (W_t + W_a) \cdot L_a \cdot \cos(\alpha) \quad [\text{Ec. 2.22}]$$

$$F_2 = \mu \cdot F_1 \quad [\text{Ec. 2.23}]$$

Donde:

W_t = Peso del tubo por unidad de longitud (N/m) o (Kgf/m).

W_a = Peso del agua en el tubo por unidad de longitud (N/m) o (Kgf/m).

μ = Coeficiente de fricción entre tubo y concreto (acero y concreto) ($\mu = 0.5$ o 0.6).

L_a = Distancia entre los apoyos o entre los puntos medios de 2 tramos consecutivos.

α = Angulo de inclinación de la tubería.

Operando en las formulas, haciendo intervenir el concepto de peso, en función del peso específico, volumen y características geométricas del tubo y agua, tenemos:

$$W_t = \gamma_t \cdot V_t \quad [\text{Ec. 2.24}]$$

$$W_t = \gamma_t \cdot \frac{\pi}{4} (D_e^2 - D^2) \dots (\text{Kg} / \text{m}) \quad [\text{Ec. 2.25}]$$

$$W_a = \gamma_a \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \dots (\text{Kg} / \text{m}) \quad [\text{Ec. 2.26}]$$

Donde:

γ_t = Peso específico del material de la tubería, (N/m³ o Kg-f/m³).

D_e = Diámetro exterior del tubo en m.

D = Diámetro interior del tubo en m.

L_a = Longitud entre apoyos en m.

Esta longitud no debe causar deflexiones excesivas, ni esfuerzos de flexión mayores a los admisibles en la tubería.

Generalmente, se aconseja que: $L_a \leq 8.m$

La flecha máxima Δ se calcula mediante:

$$\Delta = \frac{5}{384} \cdot \left(\frac{W \cdot L_a^4}{E \cdot I} \right) \quad [\text{Ec. 2.27}]$$

Y el momento flector máximo es (como viga simplemente apoyada).

$$M = W \cdot \left(\frac{L_a^2}{8} \right) \quad [\text{Ec. 2.28}]$$

Donde:

$W = W_t + W_a$.

E = Módulo de elasticidad del material de la tubería.

I = Momento de inercia de la sección.

d) Cálculo de las fuerzas.

Se presentan dos casos:

1. Cuando la tubería se está dilatando.

2. Cuando la tubería se está contrayendo.

Para el primer caso:

La Figura N° 2.13 muestra las fuerzas y observamos que F_2 es hacia arriba.

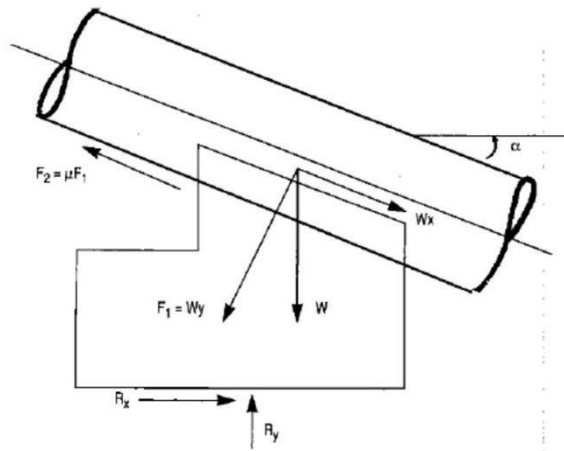


Figura N° 2.13 Fuerzas cuando la tubería se dilata

Fuente: Manual de mini y micro centrales hidráulicas – Pag. 107

$$W = \text{peso.del.apoyo}. W = V \cdot \gamma_c \quad [\text{Ec. 2.29}]$$

Donde:

V = Volumen de concreto de apoyo.

γ_c = Peso específica del concreto = 2300 kg/m^3 .

R_X = Reacción horizontal del suelo contra el apoyo.

R_Y = Reacción vertical del suelo contra el apoyo.

X = Distancia R_X al punto 0.

Para asegurar la estabilidad del apoyo se debe cumplir tres condiciones:

$$1. \sum F_X < u_t \cdot \sum F_Y \quad [\text{Ec. 2.30}]$$

Donde:

u_t = Coeficiente de fricción entre el apoyo de concreto y terreno.

$\sum F_X$ = Sumatoria de fuerza en X.

$\sum F_Y$ = Sumatoria de fuerza en Y.

$$2. S_{base} < S_{adm.} \text{ del terreno}$$

S_{base} = Esfuerzo de compresión sobre el terreno.

$S_{adm.}$ = Esfuerzo de compresión admisible sobre el terreno.

$$S_{base} = \frac{R_Y}{A} \cdot \left(1 \pm 6 \cdot \frac{e}{b} \right) \quad [\text{Ec. 2.31}]$$

El doble signo significa que habrá $S_{máx}$, S_{min} .

R_Y = Reacción vertical del suelo contra el apoyo.

b = Largo de la base del apoyo.

A = Área de la base del proyecto.

e = Excentricidad de la reacción vertical. Un valor negativo de e implica una fuerza de reacción que actúa en el izquierdo desde el centro de la base

$$e = x - \frac{b}{2}$$

3. El S_{base} mínimo debe ser positivo; en caso contrario significara que se produce el volteo del apoyo.

2.5.5 Cálculo de anclajes

Los anclajes son bloques de concreto que envuelven la tubería de presión con el propósito de fijarla al terreno. Por lo tanto, deben resistir cualquier fuerza que la tubería ejerza sobre ellos. Generalmente, estos se ubican en aquellos lugares donde hay cambios de dirección o de pendiente, o donde existen cambios de sección (Figura N° 2.14).

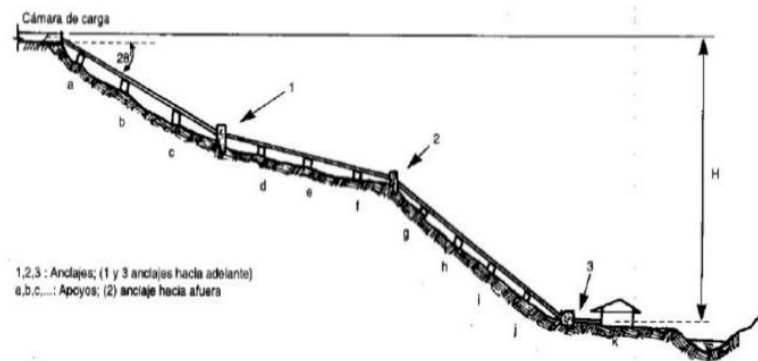


Figura N° 2.14 Tubería de presión

Fuente: Manual de mini y micro centrales hidráulicas – Pag. 113

Al diseñar los anclajes, es necesario tener en cuenta los cambios de pendiente.

Dependiendo de la idea de pendiente que se trate, hay dos tipos de anclajes hacia afuera y hacia adentro.

Los anclajes hacia adentro incluyen favorablemente en su estabilidad, ya que los esfuerzos debidos a la desviación del movimiento del agua actúan contra el terreno. Encambio, en los anclajes hacia afuera, estos esfuerzos actúan en el otro sentido: en dirección al aire o espacio.

Para estos últimos, es importante conocer bien la magnitud de los ángulos y el tipo de suelo donde se ubican. En ocasiones habrá que acoplar a la tubería otros elementos de fijación (armaduras, anillos, etc.) que garanticen que el concreto no se desprenda por encima del tubo.

Para ambos casos, las fuerzas que actúan sobre los anclajes son:

a) Componentes del peso de la tubería con agua perpendicular a ella (F_1)

Esta fuerza es similar a la fuerza F_1 considerada para los apoyos.

Para el cálculo del anclaje, deben considerarse los dos tramos de tubería: el que está aguas arriba y el que está aguas abajo del anclaje (Figura N° 2.15).

$$F_1 = (W_t + W_a) \cdot L_1 \cdot \cos(\alpha) \quad [\text{Ec. 2.32}]$$

(para aguas arriba) L_1

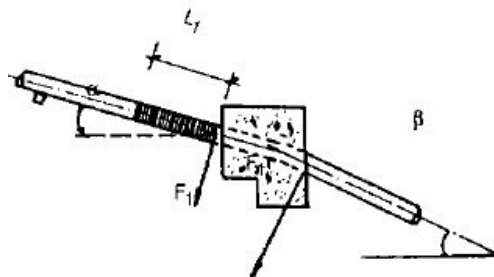


Figura N° 2.15 Cálculo de la fuerza F_1 .

Fuente: Manual de mini y micro centrales hidráulicas – Pag. 114

Donde:

L_1 = Distancia del anclaje al punto medio del tramo.

α = Ángulo de inclinación del tramo de tubería analizado aguas arriba de anclaje.

β = Idem, en el caso del tramo de tubería aguas abajo del anclaje.

b) Fuerza de fricción entre la tubería de apoyos (F_2)

Esta fuerza existe solo en el caso de que existan uno o más apoyos entre el anclaje y la junta de dilatación (Figura N° 2.16)

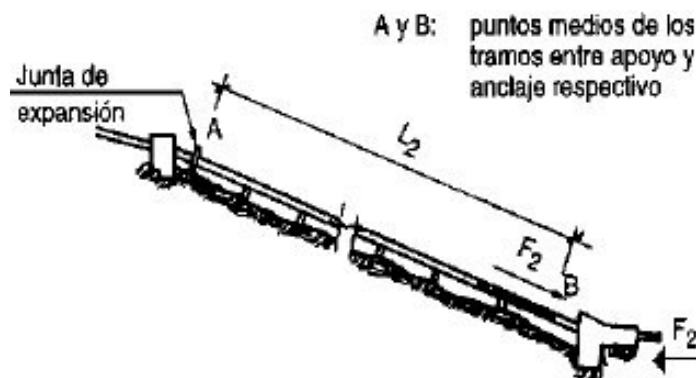


Figura N° 2.16 Cálculo de la fuerza F_2 .

Fuente: Manual de mini y micro centrales hidráulicas – Pag. 114

$$F_2 = \mu \cdot (W_t + W_a) \cdot L_2 \cdot \cos(\alpha) \quad [\text{Ec. 2.33}]$$

Donde:

L_2 = Longitud de la tubería sujeta a movimiento.

α = Ángulo de inclinación de la tubería aguas arriba del anclaje.

Usar β para aguas abajo del anclaje.

c) Fuerza en los cambios de dirección debido a la presión hidrostática F_3 (Figura N° 2.17)

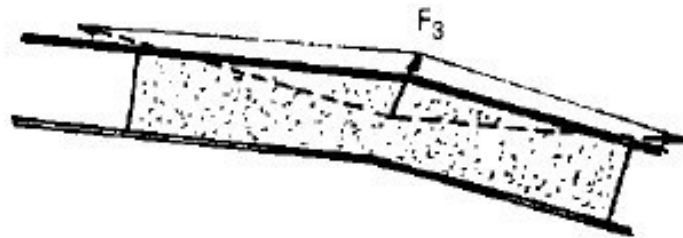


Figura 2.17 Calculo de la fuerza F_3

Fuente: Manual de mini y micro centrales hidraulicas – Pag. 114

$$F_3 = (1.6E + 03) \cdot H \cdot D^2 \cdot \text{Sen}\left(\frac{\beta - \alpha}{2}\right) \quad [\text{Ec. 2.34}]$$

Donde:

H = Presión estática en la tubería a la altura del anclaje en m.

D = Diámetro interno de la tubería en m.

α = Ángulo de inclinación de la tubería con respecto a la horizontal en el tramo aguas arriba de anclaje.

β = Ángulo de inclinación de la tubería con respecto a la horizontal aguas abajo del anclaje.

E = Modulo de elasticidad del material

d) Componentes del peso de la tubería paralela a ella (F_4)

El tramo de tubería de aguas arriba del anclaje tratará de empujar a este, mientras que tramo aguas abajo del anclaje tratará de jalarlo en la dirección de la pendiente (Figura N° 2.18)

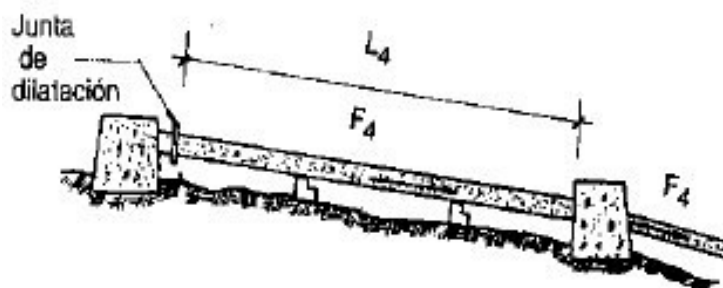


Figura N° 2.18 Cálculo dela fuerza F_4 .

Fuente: Manual de mini y micro centrales hidraulicas – Pag. 115

$$F_4 = W_t \cdot L_4 \cdot \text{Sen}(\alpha) \quad [\text{Ec. 2.35}]$$

Donde:

L_4 = La longitud de tubería a considerar en cada tramo. Generalmente, es el tramo entre la junta de dilatación y el anclaje.

α = Ángulo de inclinación de la tubería (usar β cuando se está analizando el tramo aguas abajo del anclaje).

e) Fuerza debida a cambios de temperatura en la tubería (F_5)

Esta fuerza se origina cuando la tubería no tiene juntas de dilatación y cuando esta se encuentra en la superficie (Figura N° 2.19).

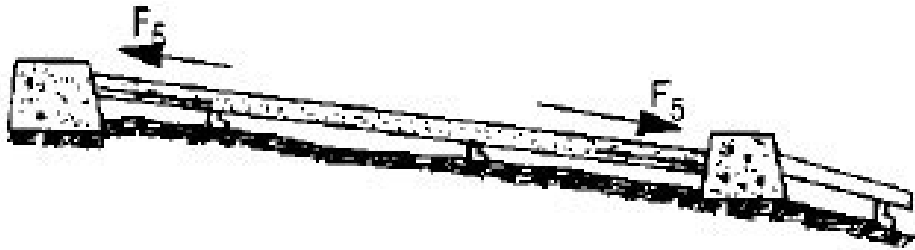


Figura N° 2.19 Cálculo de la fuerza F_5 .

Fuente: Manual de mini y micro centrales hidráulicas – Pag. 115

$$F_5 = 31.D.t.E.a.\Delta T \quad [\text{Ec. 2.36}]$$

Donde:

D = Diámetro del tubo en m.

t = espesor de la pared del tubo en mm.

a = Coeficiente de dilatación lineal de la tubería ($^{\circ}\text{C}^{-1}$).

ΔT = Máxima variación de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

E = Módulo de elasticidad de Young (Kg-f/cm^2).

f) Fuerza de fricción en la junta de dilatación (F_6)

Esta fuerza se origina entre la empaquetadura y las partes de la junta de dilatación, cuando se contrae o se dilata la tubería (Figura N° 2.20).

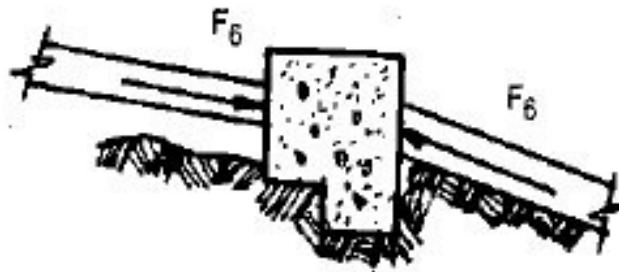


Figura N° 2.20 Cálculo de la fuerza F_6 .

Fuente: Manual de mini y micro centrales hidráulicas – Pag. 115

$$F_6 = 3.1(D).(C) \quad [\text{Ec. 2.37}]$$

Donde:

D = Diámetro interior de la tubería en m.

C = Fricción en la junta de expansión por unidad de longitud de circunferencia en Kg-f/m (un valor aproximado es $F_6 = 10 * D$ en Kg-f, en este caso D en mm).

g) Fuerza debido a la presión hidrostática dentro de las juntas de expansión (F_7)

Esta fuerza es debido a la presión hidrostática que trata de separar en dos la junta de dilatación (Figura N° 2.21).

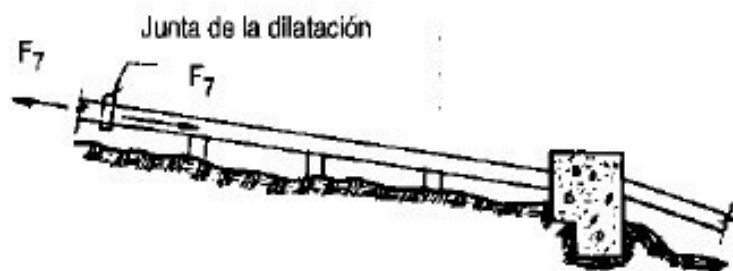


Figura 2.21 Cálculo de la fuerza F_7 .

Fuente: Manual de mini y micro centrales hidráulicas – Pag. 115

$$F_7 = 3.1(H).(D).t \quad [\text{Ec. 2.38}]$$

Donde:

H = presión estática en la tubería a la altura del anclaje en m.

D = Diámetro interior de la tubería.

t = Espesor de la pared de la tubería en mm.

h) Fuerza debida al cambio de dirección de la cantidad de movimiento (F_8)

En los codos o cambios dependientes, la velocidad del agua cambia de dirección. Ello ocasiona una fuerza resultante sobre el codo, la cual tiene la misma dirección y sentido que F_3 (Figura N° 2.22).

Generalmente la magnitud de esta fuerza es mínima, por lo que no se toma en cuenta

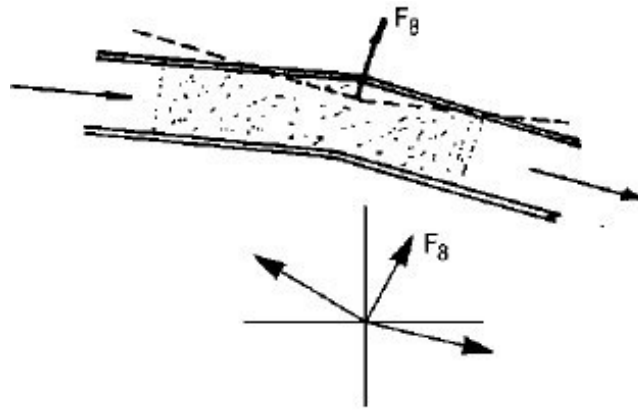


Figura 2.22 Cálculo de la fuerza F_8 .

Fuente: Manual de mini y micro centrales hidráulicas – Pag. 115

$$F_8 = 250 \cdot \left(\frac{Q}{D} \right)^2 \cdot \text{Sen} \left(\frac{\beta - \alpha}{2} \right) \quad [\text{Ec. 2.39}]$$

Donde:

Q = Caudal en m^3/s .

i) Fuerza debida al cambio del diámetro en la tubería cuando hay reducción (F_9)

Esta fuerza actúa en el sentido de reducción, es decir, hacia la tubería de menor diámetro. (Figura N° 2.23).

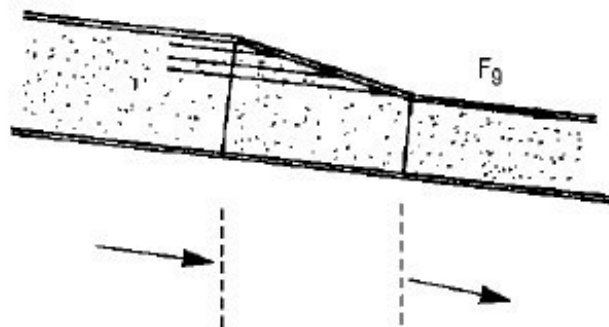


Figura N° 2.23 Cálculo de la fuerza F_9 .

Fuente: Manual de mini y micro centrales hidráulicas – Pag. 115

Donde:

H = Presión estática en la tubería a la altura de la reducción en m.

ΔA = Cambio de las áreas de las tuberías en m^2 .

Las figuras que se han mostrado anteriormente, indican la dirección de las fuerzas para el caso en que la tubería se esté dilatando.

Si la tubería se estuviera contrayendo, las fuerzas F_2 , F_5 y F_6 tienen sentido contrario.

Una vez calculada la magnitud de las fuerzas, se procede al cálculo de la estabilidad del anclaje siguiendo el mismo procedimiento que para el cálculo de los apoyos, es decir considerando los dos casos: dilatación y contracción de la tubería.

2.6 CÁLCULO DEL DIAMETRO ECONOMICO

Para del diámetro económico en este tipo de obras existen varios métodos, lo cual presentamos uno de los siguientes:

2.6.1 Método 1

Se evalúa utilizando un análisis técnico económico que permite determinar el diseño del diámetro que cause las menores pérdidas y el menor costo, es decir: “Aquel que hace mínima la suma de la anualidad que comprende el interés del capital necesario a la adquisición de la tubería y su amortización, más el valor de la energía equivalente a las pérdidas de carga que se producen en la tubería.

Las pérdidas de carga (h_f) en la tubería se traducen en pérdidas de potencia y la suma de energía; estos se producen con el aumento del diámetro, pero dicho aumento incrementa el costo de la tubería, en este sentido, el diámetro debe armonizar con el índice de pérdida de energía, que es el dinero perdido por la no venta de energía y el costo de amortización de la tubería.

2.6.1.1 Calculo del costo anual de la tubería (C_a)

El espesor de la tubería está dado por:

$$S = \frac{P_i(D)}{2K} \quad [\text{Ec. 2.40}]$$

S = Espesor de la tubería en m.

P_i = Presión media interna máxima de la tubería (m.)

$$P_i = H \cdot \gamma_a = (hb + h'b) \cdot \gamma_a \quad [\text{Ec. 2.41}]$$

hb = altura bruta (m.)

$h'b$ = altura de sobrepresión (m.)

γ_a = peso específico del agua (Kg/m^3)

K = Esfuerzo de tracción de la tubería (Kg/m^2)

D = Diámetro interior de la tubería (m.)

El peso de la tubería está dado por:

$$P = \pi \cdot D \cdot L \cdot S \cdot \gamma_T \quad [\text{Ec. 2.42}]$$

Reemplazando la ecuación (2.36) en (2.38)

$$P = \pi \cdot D \cdot L \cdot \left(\frac{\gamma_a \cdot H \cdot D}{2 \cdot K} \right) \cdot \gamma_T \quad [\text{Ec. 2.43}]$$

Donde

P = peso de la tubería en (Kg.)

L = Longitud de la tubería (m.)

γ_t = peso específico del material (Kg/m³)

El costo de la tubería está dado por:

$$C = C_1 \cdot (P) \quad [\text{Ec. 2.44}]$$

Donde:

C_1 = Costo por kilogramo de tubería (US\$/Kg)

El costo anual de la tubería sería:

$$C_a = C \cdot (i) \quad [\text{Ec. 2.45}]$$

Donde:

I = interés anual

Reemplazo (2.39) y (2.40) en (2.41)

$$C_a = 1.5315 \cdot (D^2 \cdot L \cdot H \cdot C_1 \cdot i) \quad [\text{Ec. 2.46}]$$

Cálculo del costo de pérdidas por energía (C_p)

Calculo de pérdidas por fricción, de la fórmula de Darcy – Weisbach

$$h_f = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad [\text{Ec. 2.47}]$$

$$h_f = 0.083 \cdot \lambda \cdot \frac{Q^2 L}{D^5} \quad [\text{Ec. 2.48}]$$

Calculo de la producción de energía y su costo

$$A = N \cdot f_c \cdot C' \quad [\text{Ec. 2.49}]$$

Donde:

N = Número de horas que trabaja la central (horas).

f_c = Factor de carga.

C' = Costo por Kw-h (US\$/Kwh)

El valor de la energía que se pierde anualmente por fricción:

Energía no consumida

$$P = 9.81 (\eta \cdot Q \cdot h_f) \quad [\text{Ec. 2.50}]$$

Donde:

H = Rendimiento turbina y generador

Energía anual $C_p = (2.45) \cdot (2.46)$

$$C_p = N \cdot f_c \cdot C' \cdot 9.81 \cdot \eta \cdot Q \cdot h_f \quad [\text{Ec. 2.51}]$$

Reemplazo (2.44) en (2.47)

$$C_p = N.f_c.C'.9.81.\eta.Q.\left(0.083.\frac{Q^2.L}{D^5}\right), \text{ reordenando}$$

$$C_p = \frac{N.f_c.C'.9.81.\eta.Q.0.083.Q^2.L}{D^5} \quad [\text{Ec. 2.52}]$$

Costo anual de la tubería

$$C = C_a + C_p \quad [\text{Ec. 2.53}]$$

Reemplazo (2.42) y (2.47) en (2.50)

$$C = 1.5315.D^2.L.H.C_1.i + \frac{N.f_c.C'.9.81.\eta.Q.0.083.Q^2.L}{D^5} \quad [\text{Ec. 2.54}]$$

Derivando Ec. 2.51 e igualando a cero obtenemos el diámetro para el costo total anual de la tubería es mínimo, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{\partial C}{\partial D} = 0$$

$$0 = 1.53.(2.D).L.C_1.i.\left(\frac{-5.N.f_c.C'.(9.81).\eta.Q^3.(0.083.\lambda.L)}{D^6}\right)$$

Obteniendo la expresión siguiente:

$$D^7 = \frac{1.32913(N.f_c.C'.\eta.Q^3.\lambda)}{H.C_1.i} \quad [\text{Ec. 2.55}]$$

Esta fórmula confirma que el diámetro más conveniente, desde el punto de vista económico, es independiente de la longitud de la tubería.

CAPITULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.0 INFORMACION GENERAL DEL ESTUDIO

La central hidroeléctrica se encuentra ubicada en la localidad de Pampa Libre, distrito de Paccho, provincia de Huaura, departamento de Lima. A unos 168 km al norte de la ciudad de Lima. La tubería de presión será diseñada en superficie.

En la topografía, se realizó el levantamiento topográfico de la zona por donde se trazaría la tubería de presión, en Planta a Esc: 1/150 (Plana 02) y el trazo del perfil longitudinal a Esc: 1/2,000.

Las principales características del esquema de la Mini Central Hidroeléctrica de Huaura, del cual es parte el presente estudio de la tubería de presión son:

Caudal de Diseño	: 0.25 m ³ /s.
Cota del nivel de agua en la cámara de carga	: 3482 m.s.n.m.
Cota del eje de la tubería en casa de máquinas	: 3342 m.s.n.m
Caída Bruta	: 140 m.
Potencia calculada	: 234.60 Kw.
Diámetro interior de la tubería	: 0.344 m.
Longitud de la tubería	: 220 m.

El esquema está compuesto por:

El lugar donde se instalará la Mini Central Hidroeléctrica está ubicado a 3340 msnm aproximadamente.

La mini central hidroeléctrica constará de los siguientes componentes:

1. Desarenador.
2. Canal de conducción.
3. Desarenador – Cámara de carga.
4. Tubería de presión.
5. Casa de máquinas donde estará ubicado el equipo electromecánico (turbina – generador).

El levantamiento topográfico del eje de la tubería de presión se presenta en una escala 1:500

3.1 DISEÑO Y CARACTERISTICA DE LA TUBERIA DE PRESION

La elección de números de tuberías depende de los grupos instalados y de la oportunidad de mantener la independencia del funcionamiento de dichos grupos. A igualdad de caudal y de pérdida de carga, una sola tubería pesa y cuesta mucho menor que varias tuberías.

Por tal criterio se ha considerado en el presente diseño una sola tubería de diámetro constante. El diseño de los masivos de anclajes y apoyos y su ubicación está determinado por el perfil topográfico y geológico de la caída, habiéndose proyectado pendientes moderadas con cortes compatibles a las propiedades del material contingente y a las solicitaciones estáticas y geotécnicas a que estará sometida.

3.2 DIMENSIONES DEL DESARENADOR – CÁMARA DE CARGA

El desarenador – cámara de carga tienen las dimensiones:

Datos:

$$Q_d = 0.25 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (caudal de diseño)}$$

$$Q_a = 0.34 \text{ m}^3/\text{s} \text{ caudal de avenida}$$

$$V_h = 0.2 \text{ Velocidad Horizontal del agua en el desarenador (} V_h \text{ =de 0.20 a 0.50 m/seg)}$$

$$V_d = 0.02 \text{ Velocidad de decantación de la partícula (m/s)}$$

$$d_d = 0.8 \text{ Profundidad de decantación se recomienda valores menores a 1 (m)}$$

$$f = 2 \text{ Factor de seguridad (recomendable de 2 a 3)}$$

Ancho del desarenador-(W):

$$W = \frac{Q_d}{V_h \cdot d_d}$$

$$W = \frac{0.25}{0.2 \cdot 0.80} = 1.56 \text{ m}$$

La longitud de decantación del desarenador – Ld:

$$L_d = \frac{V_h}{V_d} \cdot (d_d \cdot f)$$

$$L_d = \frac{0.2}{0.02} \cdot (0.8 \cdot 2) = 16 \text{ m}$$

Calculo de la profundidad mínima de recolección:

El Angulo de inclinación para el diseño de desarenadores está entre 2° a 6° grados

$$\Phi = 3^\circ \text{ (Adoptamos)}$$

$$d_r = L_d \cdot \tan(\phi)$$

$$d_r = 16 \cdot \tan(3) = 0.8384 \cong 0.84 \text{ m}$$

Calculo de la longitud de entrada del desarenador:

$$L_e = \frac{W - b}{2 \cdot \tan(\alpha)}$$

Donde:

$$W = 1.56 \text{ m, Ancho del desarenador}$$

$$b = 0.60 \text{ m, ancho de entrada}$$

$$\alpha = 12^\circ \text{ ángulo de transición la inclinación esta en } 12^\circ \text{ a } 30^\circ$$

$$L_e = \frac{1.56 - 0.60}{2 \cdot \tan(12)} = 2.25.m$$

Calculo de longitud de salida del desarenador

$$L_s = \frac{W}{\tan(\alpha)}$$

$$L_s = \frac{1.56}{\tan(30)} = 2.70.m$$

Calculo de las dimensiones del vertedor de demasías:

$$H_v = \frac{Q_e}{V \cdot b}, \quad L_v = \frac{Q_e}{C_w (h_c)^{1.5}}$$

Donde:

Q_e = Diferencia entre el caudal constante y el caudal de avenida = $0.34 - 0.25 = 0.09 \text{ m}^3/\text{s}$

C_w = Coeficiente de descarga

Para cresta = 1.80

Perfil Creager = 2

h_c = carga sobre la cresta del vertedero = 0.1

V = velocidad de descarga del agua = 1 m/s

$$H_v = \frac{0.09}{1 \cdot 0.60} = 0.15.m,$$

$$L_v = \frac{0.09}{1.8(0.1)^{1.5}} = 1.58.m$$

Figura N° 3.0

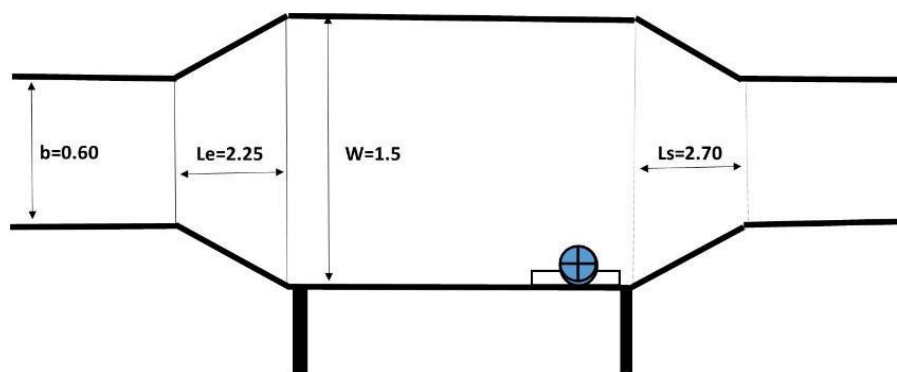


Figura N° 3.0 Desarenador – planta

Fuente: Elaboracion propia

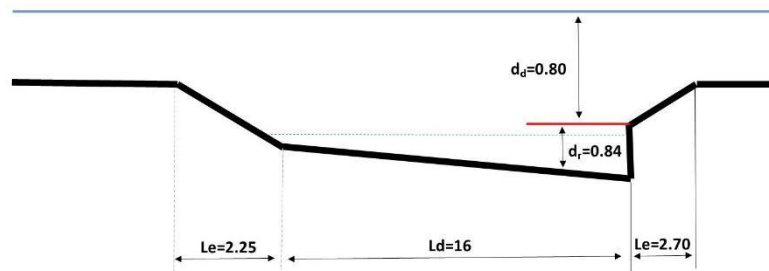


Figura N° 3.1 Perfil del desarenador

Fuente: Elaboracion propia

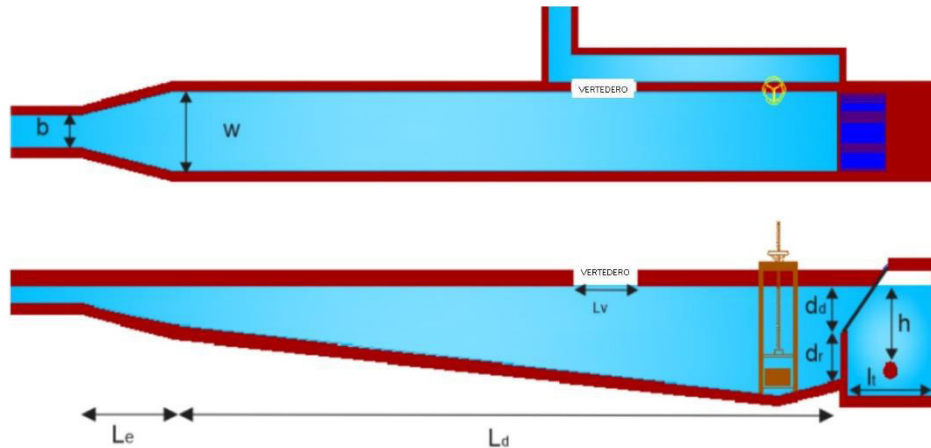


Figura N° 3.2 Detalle de la cámara de carga – desarenador

Fuente: Elaboracion propia

3.3 CALCULO DE LAS DIMENSIONES DE LA CÁMARA DE CARGA O TANQUE DE PRESIÓN

Para el dimensionamiento se tendrá en cuenta el esquema de la Figura N° 3.3 y los datos:

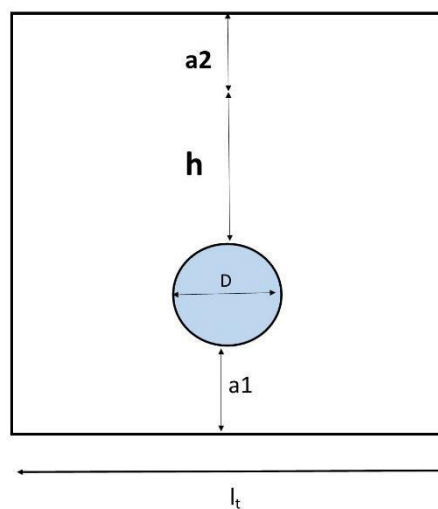


Figura N° 3.3 Detalle del tanque de presión

Fuente: Elaboracion propia

Datos:

$D = 0.345$ Diámetro interior de la tubería de presión (m)

$A = 0.092$ sección de la tubería forzada (m^2)

$V = 2.689$ Velocidad en la tubería de presión (m/s)

$g = 9.81$ aceleración de la gravedad (m/s^2)

$W = 1.50$ Ancho del tanque (m)

$i = 0.005$ pendiente en el canal de conducción

$a_1 = 0.40$ Altura para sedimentos 0.3 a 0.5 m

$a_2 = 0.40$ Altura para evitar golpe de ariete 0.3 a 0.5 m

Determinación del volumen mínimo en la cámara de carga:

$$Vol = \frac{0.693 \cdot A \cdot V^2}{i \cdot g}$$

$$Vol = \frac{0.693 \cdot 0.092 \cdot 2.689^2}{0.005 \cdot 9.81} = 9.40 \cdot m^3$$

Calculo de la altura mínima de agua sobre la tubería de presión:

$$\text{Para salida frontal de flujo: } h = 0.54(V \cdot \sqrt{D})$$

$$\text{Para salida lateral de flujo: } h = 0.724(V \cdot \sqrt{D})$$

Vamos a considerar salida lateral del flujo

$$h = 0.724 \times (2.689 \times \sqrt{0.345}) = 1.14 \text{ m}$$

Calculo de la longitud de la cámara de carga:

$$l_t = \frac{Vol}{W \cdot h_t}$$

$$l_t = \frac{9.40}{1.50 \cdot (1.14 + 0.40 + 0.40)} = 3.23 \cdot m$$

3.4 DISEÑO DE LAS REJILLAS

Las rejillas deben tener una inclinación con respecto a la horizontal para facilitar la limpieza.

Para nuestro estudio se considerará un $\alpha = 50^\circ$

La distancia entre rejillas depende del tipo de turbina que se utilizará en el caso de la turbina Peltón, la distancia "s" no debe ser mayor a la mitad del diámetro del inyector.

Si se usa una válvula de aguja debe ser un cuarto de éste.

Por tener a disposición una turbina Peltón con un inyector cuyo diámetro es:

$$d_{ch} = 0.055.m$$

Además posee una válvula de aguja

La distancia entre rejillas es: $S= 13.8 \text{ mm}$

Dimensión del barrote: $l \times h = 32 \times 30 \text{ mm}$

3.5 CALCULO DE LAS DIMENSIONES DE LA TUBERIA A PRESION

Cálculo del diámetro D de la tubería de presión por Fahlbusch: Ec. 2.7

$Q_d = 0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ Caudal de diseño

$H_B = 140 \text{ m}$ Altura bruta

$L = 220 \text{ m}$ Longitud de la tubería

$$D = \left(\frac{5.2 Q_d^3}{H_B} \right)^{\frac{1}{7}}$$

$$D = \left(\frac{5.2 * 0.25^3}{140} \right)^{\frac{1}{7}} = 0.345 \text{ m}$$

Si lo convertimos a pulgadas se tiene el diámetro de la tubería a presión = 13.54 pul.

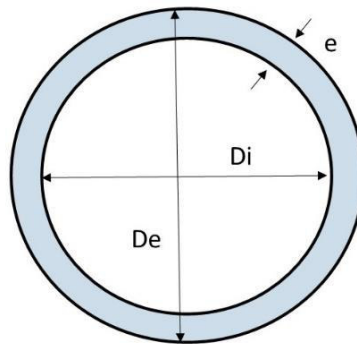


Figura N° 3.4 – Tubería a presión

Fuente: Elaboracion propia

Calculo de la velocidad V_T del fluido que pasa por la tubería de presión: Ec. 2.8

$$V = \frac{4Q_d}{\pi D^2}$$

$$V = \frac{4(0.25)}{3.1416 \times 0.345^2} = 2.7 \text{ m/s}$$

Calculo del espesor e' de la tubería de presión está dado por la siguiente expresión:

Utilizando la Ec. 2.20

$$e = \frac{5(f_s)(h_t)(10^6)(d)(K_j)}{S} + K_c$$

Para la relación anterior debemos calcular h_t , que está dada por la Ec. 2.19

$$h_t = \Delta h + h_B$$

De la relación anterior se calcular la sobrepresión por golpe de ariete, considerando un valor promedio de la onda de presión en tuberías de acero $a = 900$ m/s

Utilizamos la Ec. 2.18

$$\Delta h = \frac{a \cdot \Delta V}{g}$$

Reemplazando datos

$$\Delta h = \frac{900 \times 2.7}{9.81} = 247.70 \text{ m}$$

Reemplazando este valor en la Ec. 2.19

$$h_t = 247.70 + 140 = 387.70 \text{ m}$$

Para Ec. 2.20, se considera los siguientes factores

$K_c = 2$ Factor por corrosión en mm (por 20 años de vida)

$K_f = 1.2$ Por factor de junta.

$f_s = 3$ Factor de seguridad

$S = 350$ MPa Esfuerzo de rotura del acero

$$e = \frac{5(3)(387.70)(10^6)(0.345)(1.2)}{350 \times 10^6} + 2 = 6.8789 \text{ mm}$$

$$e = 0.00687 \text{ m}$$

El diámetro exterior será de $=d_i + 2e = 0.345 + 2 \times 0.00687 = 0.35874 \text{ m}$

3.6 CALCULO DE PERDIDAS EN LA TUBERIA DE PRESIÓN

a.- Cálculo de la pérdida en la rejilla – h_r :

De la Ec. 2.10

$$h_r = Kr \left(\frac{t}{S} \right)^{4/3} \frac{V^2}{2g} \text{Sen} \alpha$$

Considerando los factores:

$Kr = 2.4$ coeficiente de pérdidas y de la Figura N° 2.8

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$V = 0.2$ m/s velocidad antes de las rejillas

$t = 0.032$ m espesor de la barra

$s = 0.014$ m separación entre barras

$\alpha = 50^\circ$ Angulo de la rejilla

$$h_r = 2.4 \times \left(\frac{0.032}{0.014} \right)^{4/3} \frac{0.2^2}{2 \times 9.81} \text{Sen}(50) = 0.01129 \text{ m}$$

b.- Cálculo de pérdida en la entrada – h_E :

De la Ec. 2.11

$$h_E = K_v \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$K_e = 0.2$ Coeficiente de pérdidas, depende de la forma de entrada

$g = 9.81$ m/s²

$V = 2.7$ velocidad de agua en la tubería m/s

$$h_E = 0.2 \times \frac{2.7^2}{2 \times 9.81} = 0.074319 \text{ m}$$

c.- Cálculo de pérdidas en los codos – h_o :

De la Ec. 2.12

$$h_o = \sum \Upsilon \frac{V^2}{2g}$$

Para $\Upsilon = 0.000067(\alpha)^{2.17}$

$\alpha_o = 36.00$ $\alpha_1 = 10.00$

$\alpha_2 = 12.00$ $\alpha_3 = 30.00$

Para cada valor del ángulo se tiene

$$\Upsilon_o = 0.000067(36.00)^{2.17} = 0.159680 \quad \Upsilon_1 = 0.000067(10.00)^{2.17} = 0.0099100$$

$$\Upsilon_2 = 0.000067(12.00)^{2.17} = 0.0147196 \quad \Upsilon_3 = 0.000067(30.00)^{2.17} = 0.1075048$$

$$\sum \Upsilon = 0.2918144$$

Luego en la ecuación:

$$h_o = 0.2918144 \times \left(\frac{2.7^2}{2 \times 9.81} \right) = 0.108426 \text{ m}$$

d.- Cálculo de pérdida por fricción en la tubería considerando Darcy Weisbach – h_f :

De la Ec. 2.13

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

f= Es el factor de fricción

L= Es la longitud del tubo (m)

D= Es el diámetro de la tubería (m)

V = Es la velocidad dentro del tubo (m/s)

g= Es la constante gravitacional (m/s^2)

El factor de fricción equivale a:

Según Ec. 2.14

$$f = 0.01 \left(\frac{K}{D} \right)^{0.134}$$

De acuerdo a la Tabla N° 3.0

Tabla N° 3.0 – Valores de K en tuberías

MATERIAL DEL TUBO	K
Tubo de acero (nuevo)	1.2
Tubo de hierro fundido (nuevo)	2.5
Tubo de acero corroído (en operación)	5.0
Tubo plástico	5.0

Fuente: Elaboracion propia

Para un valor de K = 1.2, en la, Ec. 2.14

$$f = 0.01 \left(\frac{1.2}{0.344} \right)^{0.134} = 0.01182$$

El valor obtenido en la Ec. 2.13

$$hf = 0.01182 \times \left(\frac{220}{0.345} \right) \times \left(\frac{2.7^2}{2 \times 9.81} \right) = 2.843238 \text{ m}$$

e.- Cálculo de pérdida en la válvula – h_v :

De la Ec. 2.15

$$h_v = K_v \frac{V^2}{2g}$$

Tomando en cuenta que la válvula será tipo mariposa y de la Figura N° 2.11, el valor de K_v = 0.6

$$h_v = 0.6 \times \left(\frac{2.7^2}{2 \times 9.81} \right) = 0.22293 \text{ m}$$

f.- Suma de todas las pérdidas. $h_T = (a+b+c+d+e)$:

$$h_T = 0.01129 + 0.074319 + 0.108426 + 2.84323893 + 0.22293 = 3.26020 \text{ m}$$

El porcentaje calculado es de 2.3%, que no esta en el rango de 4 a 10% lo que implica realizar un nuevo cálculo del diámetro. Sin embargo, si analizamos bien el procedimiento de cálculo para un nuevo diámetro implica el disminuir el diámetro lo que aumentara el aumento de sobrepresión en la tubería forzada.

3.7 DETERMINACION DE LA ALTURA NETA O ALTURA ÚTIL – H_N :

De la relación: $H_N = H_B - h_T$

$$H_N = 140 - 3.26020393 = 136.74 \text{ m}$$

3.8 DETERMINACION DE LA POTENCIA QUE SE GENERA (Pot) Y LO QUE NO SE GENERA (Potp)

Se utiliza la ecuación para la generada con el salto útil:

$$Pot = \frac{\gamma_{H_2O} \cdot Q \cdot H_N \cdot \eta}{102} \dots (Kw)$$

$$Pp = \frac{\gamma_{H_2O} \cdot Q \cdot h_T \cdot \eta}{102} \dots (Kw)$$

$\gamma_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$ Peso específico del agua

$Q = 0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ Caudal de agua disponible

$h_N = 136.74 \text{ m}$ Altura neta o útil

$h_T = 3.26020 \text{ m}$ Pérdida de carga

$\eta = 0.70$ Eficiencia de la instalación

Potencia generada:

$$Pot = \frac{1000 \times 0.25 \times 136.74 \times 0.70}{102} = 234.60 \text{ Kw}$$

Potencia que se pierde o no generada

$$Pp = \frac{1000 \times 0.25 \times 3.26020 \times 0.70}{102} = 5.60 \text{ Kw}$$

3.9 DETERMINACION DEL DIAMETRO ECONOMICO

Utilizando la Ec. 2.52

$$D^7 = \frac{1.32913 (N \cdot f_c \cdot C' \cdot \eta \cdot Q^3 \cdot \lambda)}{H \cdot C_1 \cdot i}$$

Donde:

$H = 140 \text{ m}$.

$Q = 0.25 \text{ m}^3/\text{s}$

$N = 8400 \text{ horas}$

$f_c = 0.34$

$C' = 0.06 \text{ US\$ / Kwh}$

$\eta = 0.70$

$\lambda = 0.01182$ tubería de acero

$$C_1 = 3.00 \text{ \$/Kg.}$$

$$i = 0.12 \text{ (tasa de interés anual)}$$

Reemplazando estos valores

$$D^7 = \frac{1.32913(8400 * 0.34 * 0.06 * 0.70 * 0.25^3 * 0.01182)}{(140 * 3.00 * 0.12)} = \frac{0.02944506089}{50.4} = 5.842273034 \times 10^{-4}$$

$$D = (5.842273034 \times 10^{-4})^{1/7} = 0.3452 \text{ m}$$

Como observamos diámetro obtenido por Fahlbusch: Ec. 2.7 y el método de diámetro económico, son aproximadamente iguales.

$$\text{Diámetro por Fahlbusch} \quad D = 0.345 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro económico} \quad D = 0.3452 \text{ m}$$

Por lo tanto el proceso de cálculo que se desarrollo es correcto,

3.10 DISEÑO DE LOS APOYOS

Son macizos de concreto armado colocados en los cambios de dirección de la tubería y sirven para contrarrestar los esfuerzos que en aquella se presentan y se indican a continuación:

Datos:

Angulo de inclinación del tubo α	=	40.30°
Diámetro de la tubería interno D_i	=	0.344 m
Diámetro de la tubería externo D_e	=	0.36082 m
Distancia entre los apoyos L_a	=	8.00 m
Peso específico H_2O γ_a	=	1000.0 Kg/m ³
Peso específico Tubo γ_t	=	7860.0 Kg/m ³
Peso específico concreto γ_c	=	2300.0 Kg/m ³
Coeficiente de fricción concreto μ_c	=	0.5
Coeficiente de fricción terreno μ_t	=	0.500
Módulo de elasticidad del tubo E	=	2.10×10^{10} kg/m ²
Factor de seguridad del apoyo F_{sa}	=	1.3
Área de contacto en la base Apoyo A_{cb}	=	1.69 m ²
Esfuerzo admisible del terreno S_{adm}	=	1.00 Kg/cm ²

$$\text{Peso unitario del tubo: } W_t = \frac{\pi(D_e^2 - D_i^2)}{4} \cdot \gamma_t$$

$$W_t = \frac{3.1416 \cdot (0.36082^2 - 0.344^2)}{4} \cdot 7860 = 73.2.Kg$$

Peso unitario del agua: $W_a = \frac{\pi(D_i^2)}{4} \cdot \gamma_a$

$$W_a = \frac{3.1416(0.344^2)}{4} \cdot 1000 = 92.94.Kg$$

Peso unitario total: $W = W_t + W_a$

$$W = 73.2 + 92.94 = 166.14.Kg$$

Componente: $W_y = F_1 = W \cdot \cos(\alpha) \cdot L_a$

$$W_y = F_1 = 166.14 \cdot \cos(40.30) \cdot 8 = 1013.67.Kg$$

Componente: $W_x = W_y \cdot \sin\left(Di \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \gamma_a$

$$W_x = 1013.67 \cdot \sin\left(0.344 \cdot \frac{3.1416}{1800}\right) \cdot 1000 = 106.22.Kg$$

Fuerza: $F_2 = F_1 \cdot \mu_c$

$$F_2 = 1013.67 \cdot 0.50 = 506.84.Kg$$

Momento flector máximo: $M_{\max} = \frac{W \cdot L_a^2}{8}$

$$M_{\max} = \frac{166.14 \cdot 8^2}{8} = 1329.12.Kg - m$$

Flecha admisible: $\Delta_{adm} = \left(\frac{L_a}{360}\right) \cdot 1000$

$$\Delta_{adm} = \left(\frac{8}{360}\right) \cdot 1000 = 22.2.mm$$

Momento de inercia del tubo: $I = \frac{\pi(D_e^4 - D_i^4)}{64}$

$$I = \frac{3.1416(0.36082^4 - 0.344^4)}{64} = 1.4462 \times 10^{-4}.m^4$$

Flecha máxima: $\Delta_{\max} = \left(\frac{5}{384}\right) \cdot \left(\frac{W \cdot L_a^4}{E \cdot I}\right) \cdot 1000$

$$\Delta_{\max} = \left(\frac{5}{384}\right) \cdot \left(\frac{166.14 \cdot 8^4}{2.10 \times 10^{10} \cdot 1.4462 \times 10^{-4}}\right) \cdot 1000 = 2.91.mm$$

Suma de fuerzas en X: $\sum F_x = -(W_y) \cdot \text{Sen}(\alpha) - F_2 \cdot \text{Cos}(\alpha)$

$$\sum F_x = -(1013.67) \cdot \text{Sen}(40.30) - 506.84 \cdot \text{Cos}(40.30) = -1042.18 \text{ Kg}$$

Suma de fuerzas en Y: $\sum F_y = -(F_1) \cdot \text{Cos}(\alpha) + F_2 \cdot \text{Sen}(\alpha) - W_c$

Primero determinamos el peso del concreto que está en función de sus datos geométricos

$$W_c = \left[(A_1 \cdot B + A_2 \cdot b + A_3 \cdot b) - 2\pi \left(\frac{De}{2} \right) \left(\frac{De}{4} \right) \right] \cdot \gamma_c$$

Donde

Las dimensiones del bloque de concreto:

$$H = 0.60 \text{ m}$$

$$A = 1.5$$

$$B = 1 \text{ m}$$

$$h = 0.70 \text{ m}$$

$$a = 0.5 \text{ m}$$

$$b = 0.5 \text{ m}$$

Determinando:

$$A_1 = H \cdot A$$

$$A_2 = (h - \text{Tan}(\alpha) \cdot a) \cdot a$$

$$A_3 = a^2 \text{Tan}(\alpha)$$

$$A_1 = 0.60 \cdot 1.5 = 0.90 \text{ m}^2$$

$$A_2 = (0.70 - \text{Tan}(40.30) \cdot 0.5) \cdot 0.5 = 0.14 \text{ m}$$

$$A_3 = 0.5^2 \cdot \text{Tan}(40.30) = 0.21 \text{ m}$$

Reemplazando estos valores en la fórmula del peso del concreto

$$W_c = \left[(0.90 \cdot 1 + 0.14 \cdot 0.5 + 0.21 \cdot 0.5) - 2 \cdot 3.1416 \left(\frac{0.36082}{2} \right) \left(\frac{0.36082}{4} \right) \right] \cdot 2300 = 1851.72 \text{ Kg}$$

Volumen del concreto: $V_c = \frac{W_c}{\gamma_c}$

$$V_c = \frac{1851.72}{2300} = 0.81 \text{ m}^3$$

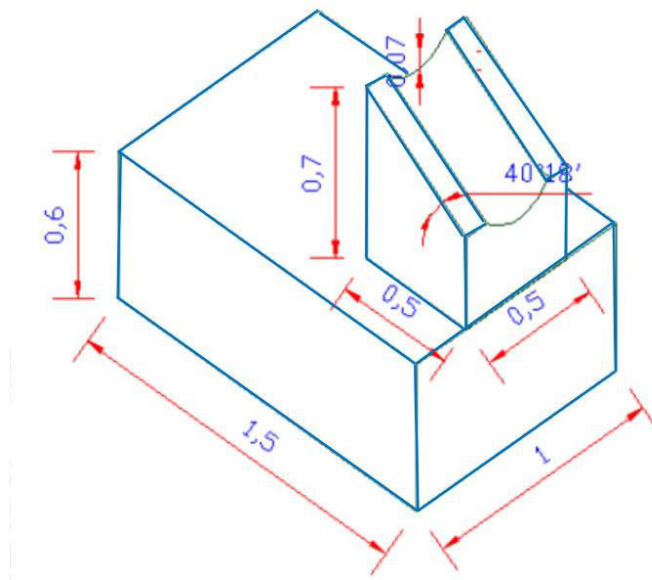


Figura N° 3.5 Detalle de los apoyos - I

Fuente: Elaboracion propia

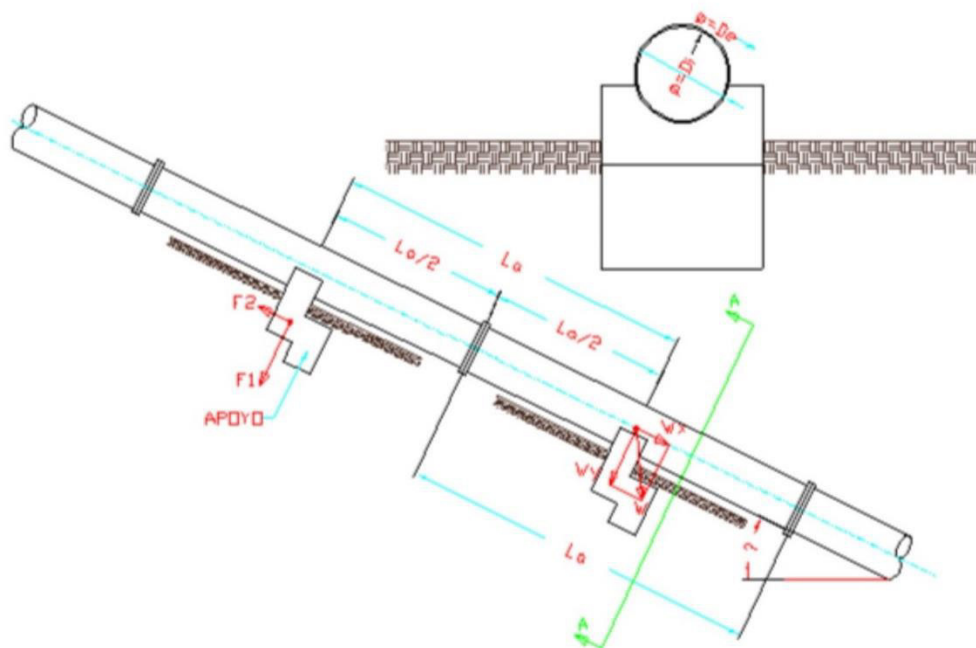


Figura N° 3.6 Detalle de los apoyos - II

Fuente: Elaboracion propia

3.11 DISEÑO DE LOS ANCLAJES

Siguiendo la metodología de cálculo de los apoyos, se ha elaborado una hoja de cálculo en Excel que permite evaluar las dimensiones así como los otros parámetros para estas estructuras. Tabla N° 3.1

Tabla N° 3.1 Cálculo de anclajes para la tubería forzada

DATOS DE ENTRADA:	VALOR	UNID.
Gradiente de la Caida H=	140.00	Metro
Variacion de caida de gradiente Δh =	16.62	Metro
Caudal de Diseño Q=	0.25	M ³
Diametro de la tubería Di=	0.36	Metro
Diametro de la tubería De=	0.34	Metro
Esapesor del tubo e=	0.008	mm
Distancia entre el apoyo y anclaje L1a=	5.79	Metro
Distancia entre el apoyo y anclaje L1b=	8.00	Metro
Angulo de Entrada α =	15.65	Deg
Angulo de Salida β =	0.00	Deg
Peso especifico H2O δa =	1,000.00	Kg/M ³
Peso especifico Tubo δt =	7,860.00	Kg/M ³
Peso especifico concreto δc =	2,300.00	Kg/M ³
Coefficiente de friccion concreto μ =	0.25	
Coefficiente de friccion terreno μt =	0.50	
Coefficiente de dilatacion lineal del tubo λ =	0.000012	mm/mm/°C
Variacion de temperatura ΔT =	15.00	°C
Long. Del tubo sugeto a movimiento. L2=	53.95	Metro
Distancia entre anclaje y junta de expans. L4=	55.30	Metro
Modulo de elasticidad Young del tubo E=	1.30E+00	kg/M ²
Diametro de la reduccion Dr=	0.30	Metro
Esfuerzo admisible del terreno Sadm=	1.50	Kg/cm ²

	DILATACION		CONTRACCION	
DATOS DE SALIDA	VALOR	UNID.	VALOR	UNID.
Peso unit. Del tubo Wt=	-73.18	Kg	-73.18	Kg
Peso unit. Del agua Wa=	102.25	Kg	102.25	Kg
Peso unit. Total W=	29.07	Kg	29.07	Kg
Peso del tubo con h2o Entrada F1a=	81.03	Kg	81.03	Kg
Peso del tubo con h2o Salida F1b=	84.15	Kg	84.15	Kg
Fuerza de friccion/tubos y apoyos F2a=	377.52	Kg	-377.52	Kg
Fuerza de friccion/tubos y apoyos F2b=	392.05	Kg	-392.05	Kg
Fuerza debido ala presion hidrostática F3=	-471.35	Kg	-471.35	Kg
Peso del tubo paralelo F4a=	-1,091.75	Kg	-1,091.75	Kg
Peso del tubo paralelo F4b=	0.00	Kg	0.00	Kg
F. debido a cambios de temperatura F5=	0.00	Kg	0.00	Kg
F. de friccion en la junta de dilatacion F6=	3,608.20	Kg	-3,608.20	Kg
F. de la fric. Hidrostat. dent. Junta exp. F7=	0.16	Kg	0.16	Kg
F. debido * cambio de direc. Cant. De mov. F8=	-16.34	Kg	-16.34	Kg
Fuerza debido al cambio de diametro F9=	524.63	Kg	524.63	Kg
ΣF_x =	3,223.21	Kg	-4,452.71	Kg
ΣF_y =	-15,281.40	Kg	-13,131.01	Kg
Peso Requerido de Concreto Wc=	13,939.50	Kg	13,939.50	Kg
Volumen de concreto requerido Vc=	6.06	M ³	6.06	M ³

Fuente: Elaboracion propia uso de Excel

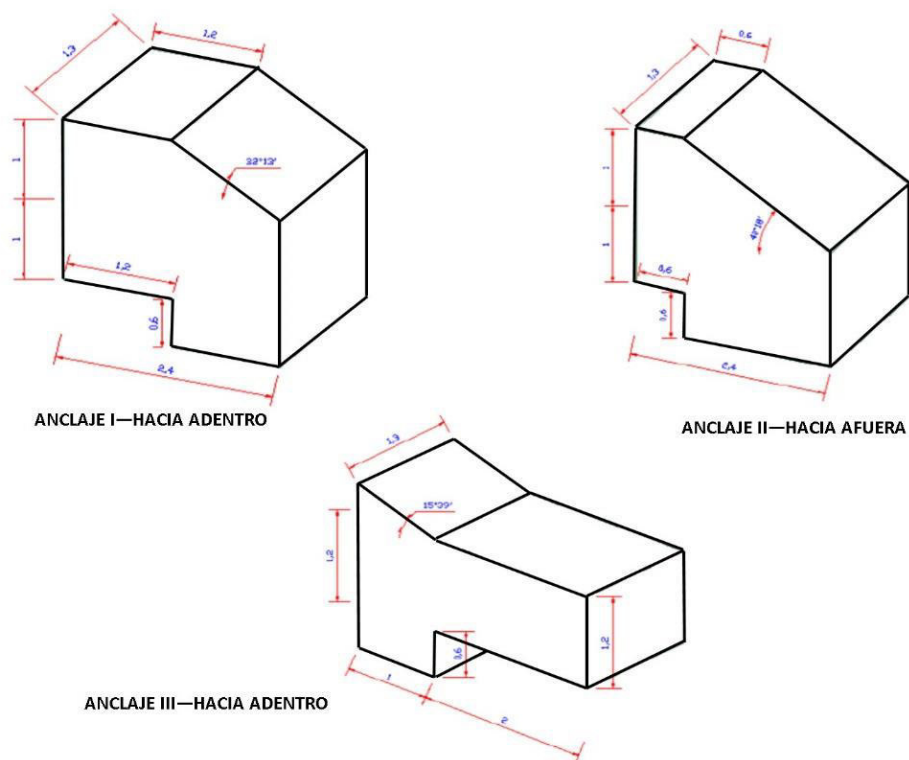


Figura N° 3.7 – Diversos tipos de anclajes para la tubería forzada

Fuente: Elaboracion propia uso de Excel

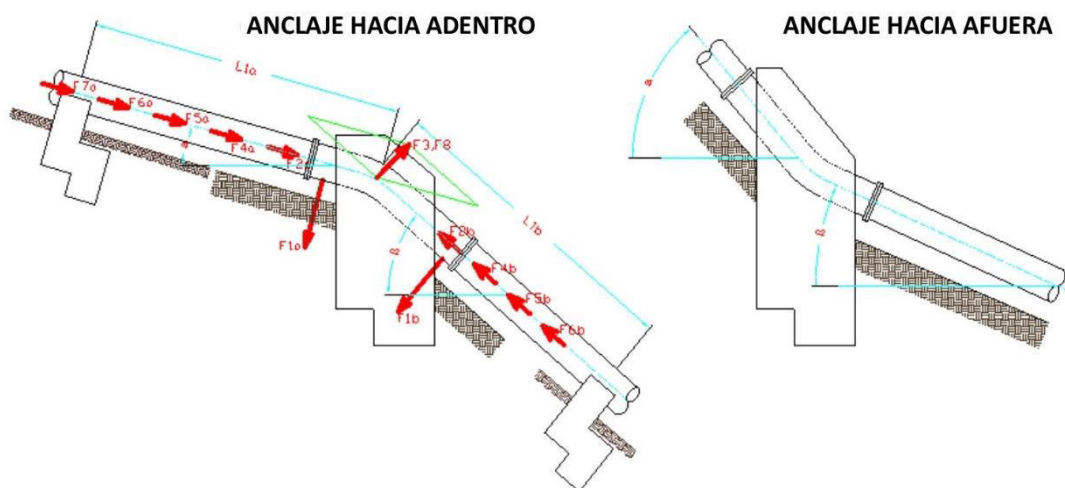


Figura N° 3.8 Anclajes de perfil

Fuente: Elaboracion propia

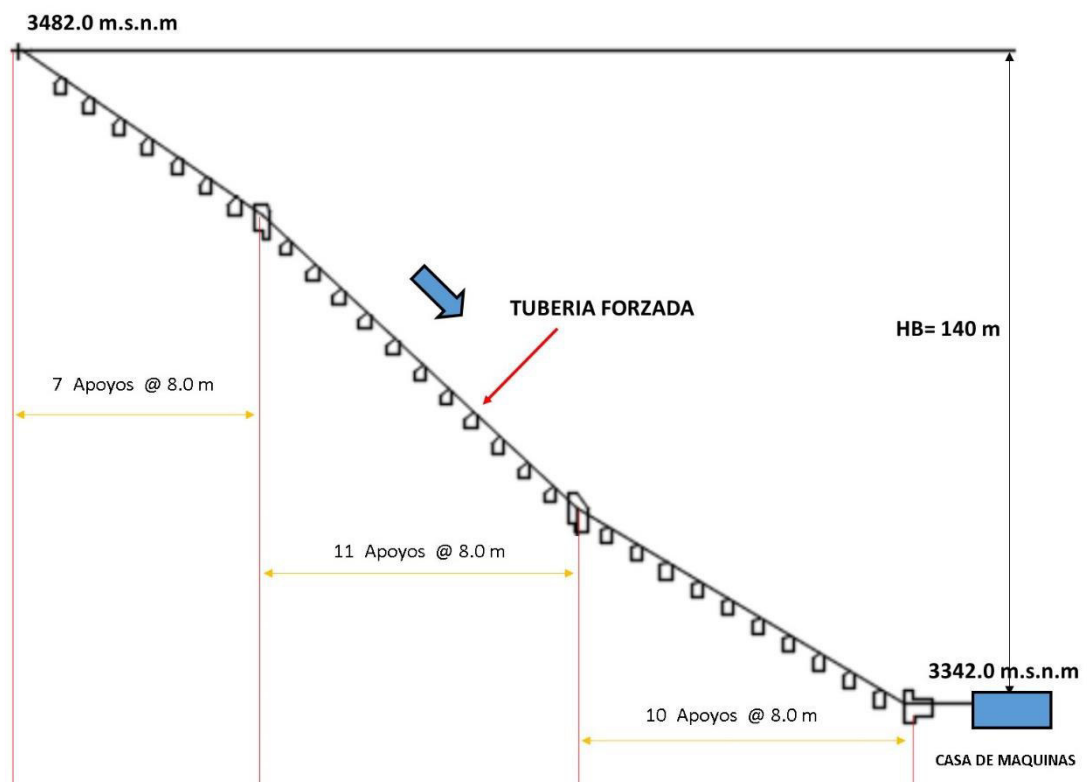


Figura N° 3.9 – Perfil de la tubería forzada y Apoyos

Fuente: Elaboracion propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- 1.- Se ha logrado calcular la tubería de presión de la Mini Central Hidroeléctrica Huaura, que permita conducir el caudal de diseño desde la cámara de carga a la casa de máquinas.
- 2.- El diámetro de diseño de la tubería es de 0.345 m. (Diámetro interno)
- 3.- Diámetro económico es 0.3452 m
- 4.- El espesor de la tubería es de 0.00687 m.
- 5.- El diámetro externo de la tubería es 0.36082 m
- 6.- El diámetro económico obtenido es 0.35847 m.
- 7.- La potencia que se genera es de 234.60 Kw.
- 8.- La potencia que no se genera es de 5.60 Kw.

RECOMENDACIONES

- 1.- Para el cálculo del diámetro de tubería, solo se deben utilizar las fórmulas recomendadas y cuyos resultados sean razonables.
- 2.- Las pérdidas de carga totales deberían ser menores al 10% de la altura total, en caso contrario revisar los cálculos.
- 3.- En caso que el diámetro de la tubería sea excesivo, se podría optar por dos o más tuberías.
- 4.- Siempre se debe tener en cuenta la sobrepresión debido al golpe de ariete, por ser considerable y determinante en el espesor de la tubería.

BIBLIOGRAFIA

Danny Abarca Durán, Setiembre 2012, Estudio preliminar para la Instalación de una micro central Hidroeléctrica, Instituto tecnológico de costa rica escuela de ingeniería en construcción.

Daniel Verán Leigh, Ian Vázquez Rowe, diciembre 2017, Proyecto IKI-PNUMA Avanzando y midiendo consumo y producción sostenible para una economía baja en carbono en economías de ingresos medios y nuevos países industrializados en Perú, Red Peruana Ciclo de Vida, Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú

Elviz Julver Goyzueta Arce, 2017, Estudio y Diseño para la Minicentral Hidroeléctrica II Etapa del Distrito de Phara-Sandia-Puno, Puno – Perú

Garcia, C., Garcia, M., Sarasúa, J., (2011). Saltos Hidroeléctricos. Delta Publicaciones Universitarias. Primera Edición. Madrid. España.

Gerzon Fernando Yáñez Vega, 2016, Diseño hidráulico de la conducción forzada de la Central Hidroeléctrica Aricota 3, Lima – Perú

Marcelo Novillo Barreno, Octubre 1985, Diseño de obras civiles y tubería a presión, Colombia

Ortiz F. Ramiro, (2011). Hidráulica – Generación de energía. Ediciones de la U. Bogotá Colombia

Zoppetti J. Gaudencio, (1974). Centrales Hidroeléctricas. Italia

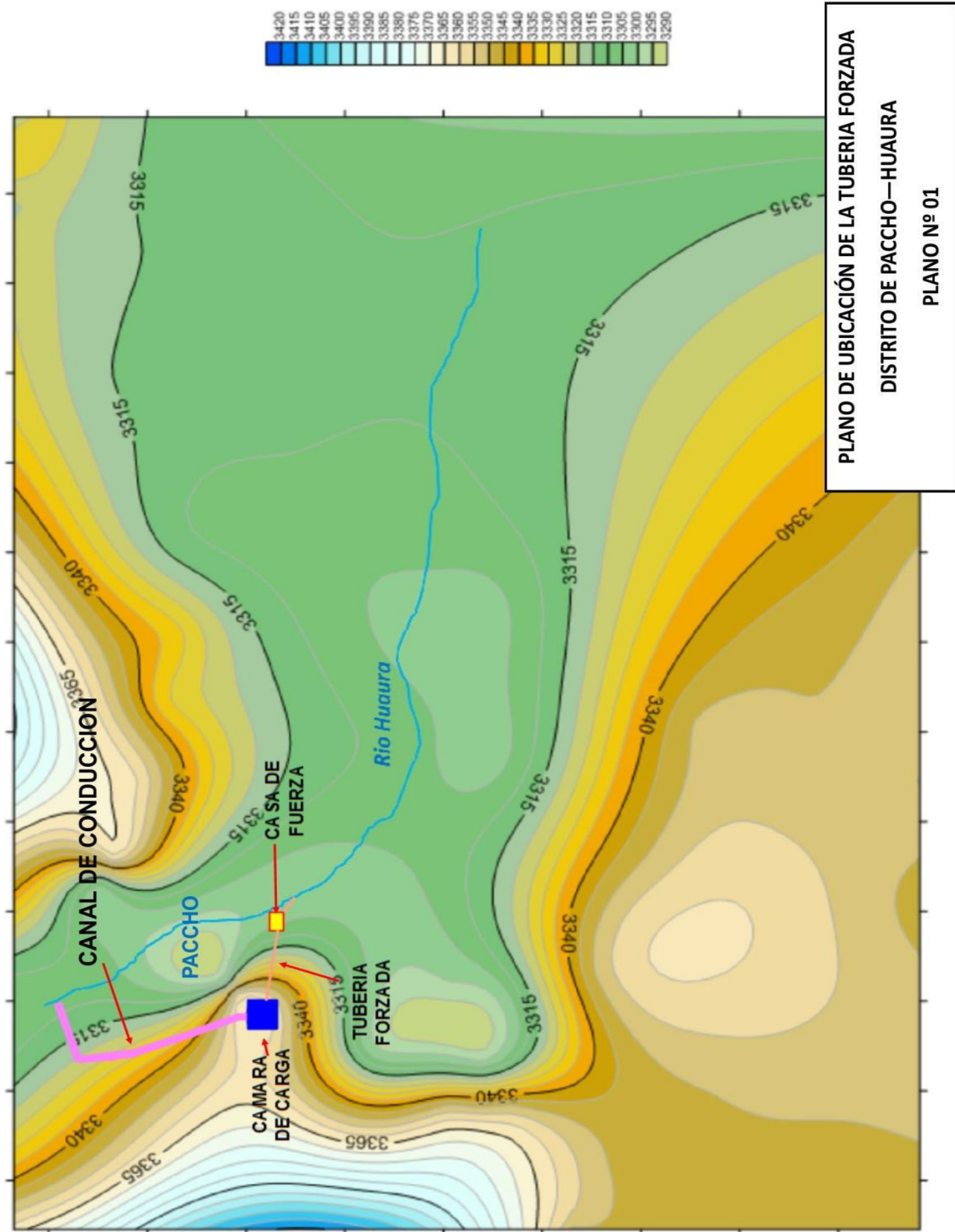
ITDG-Perú, Manual de Mini y Microcentrales hidráulicas - 1995

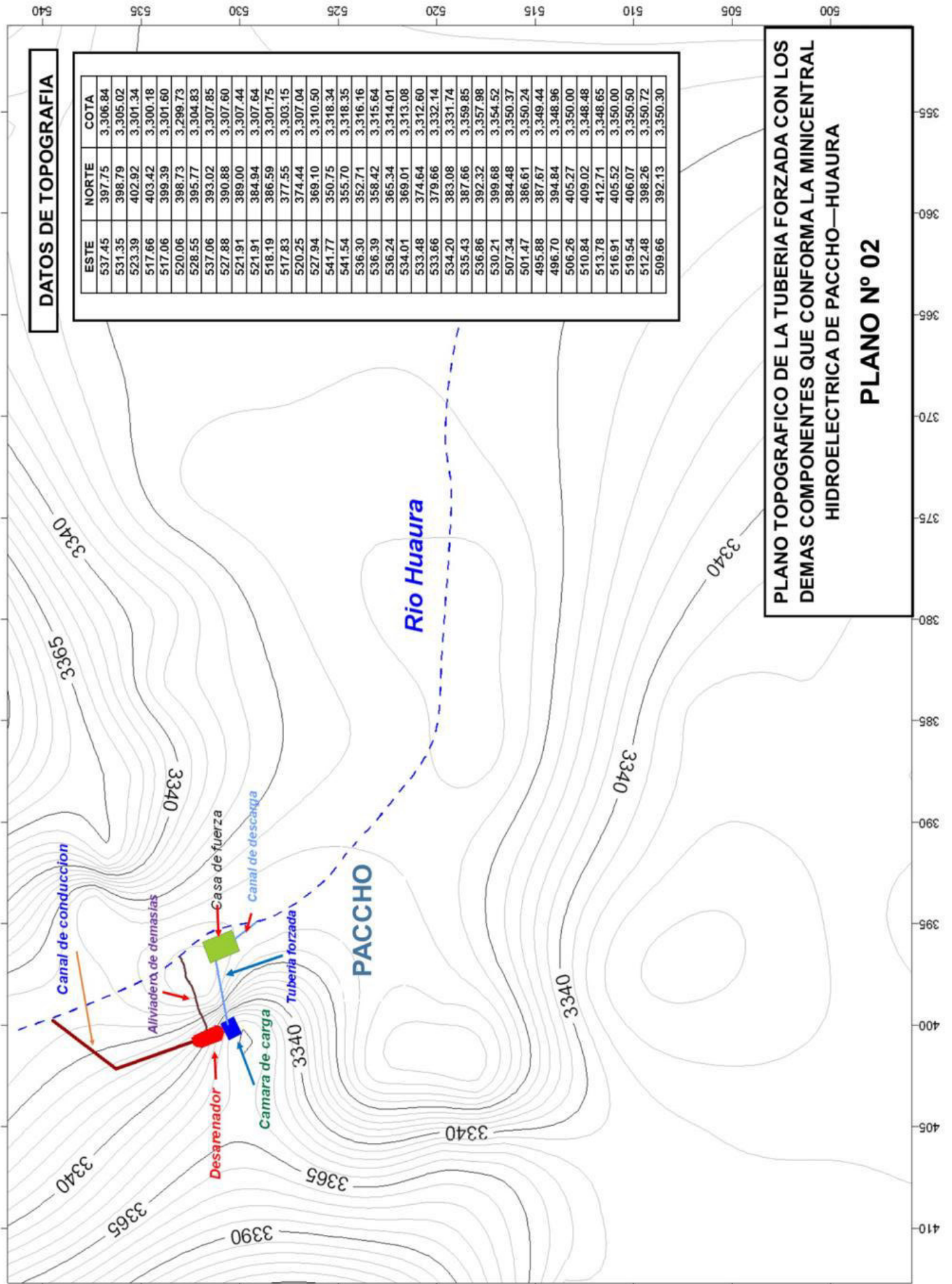
ANEXOS

Plano N° 01 - plano de ubicación de la tubería forzada

Plano N° 02 – plano topográfico de la tubería forzada con los demás componentes que conforma la minicentral hidroeléctrica de Paccho—Huaura.

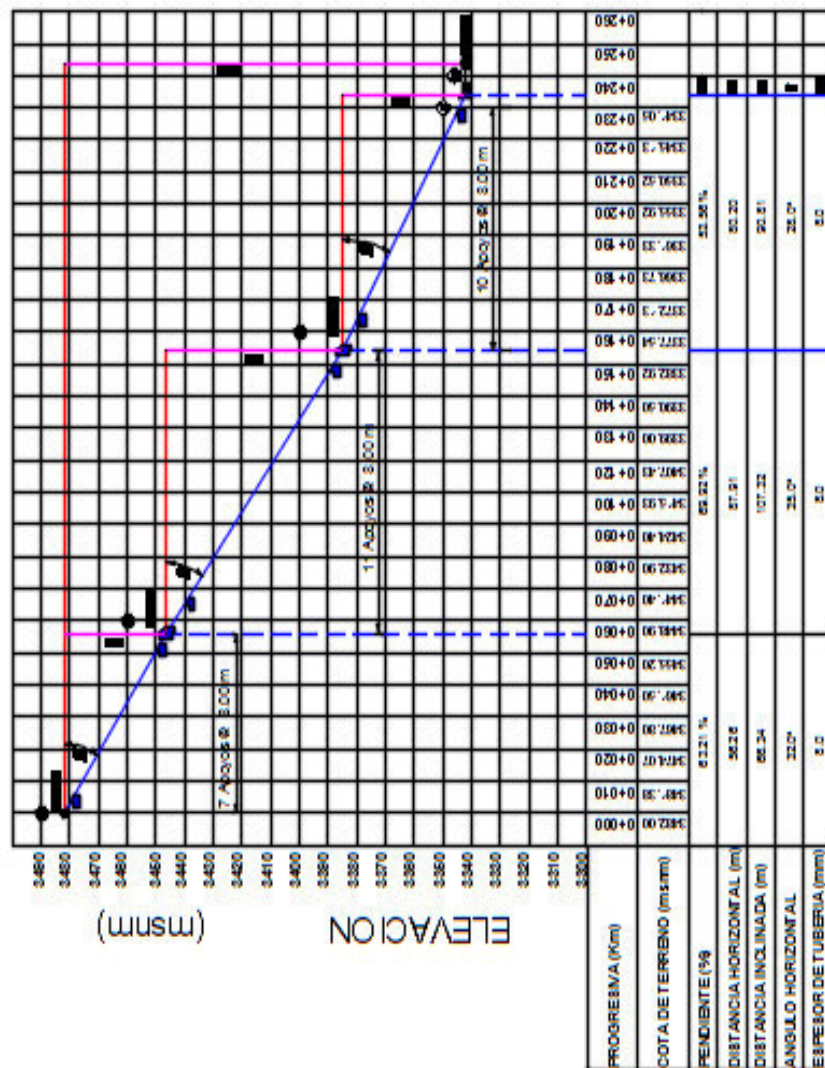
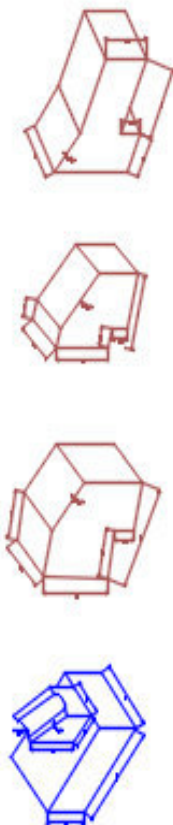
Plano N° 03 – Plano de trazo de la tubería forzada.



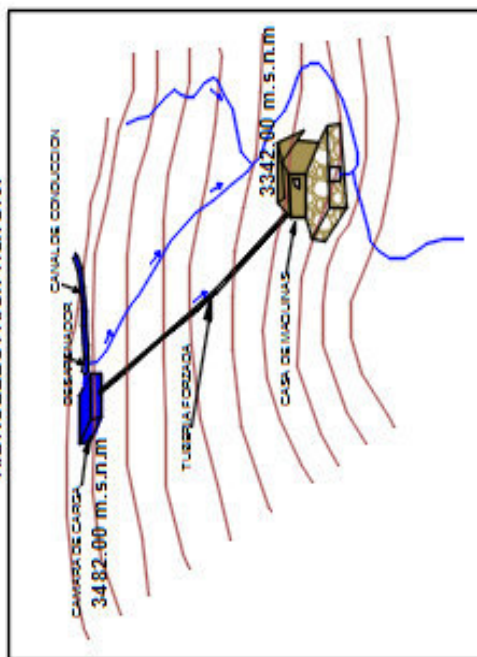


PLANO TOPOGRAFICO DE LA TUBERIA FORZADA CON LOS
 DEMAS COMPONENTES QUE CONFORMA LA MINICENTRAL
 HIDROELECTRICA DE PACCHO—HUAURA
PLANO N° 02

APOYO ANCLAJE 1 ANCLAJE 2 ANCLAJE 3



ESQUEMA HIDRAULICO DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA HUAYRA



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCO S
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS
E.P. INGENIERIA MECANICA DE FLUIDOS
DISEÑO HIDRAULICO DE LA TUBERIA DE PRESION DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA HUAYRA

PLANO DE:
TRAZADO DE LA TUBERIA FORZADA

Escala:
1/100
Jul-2018

Nº
03